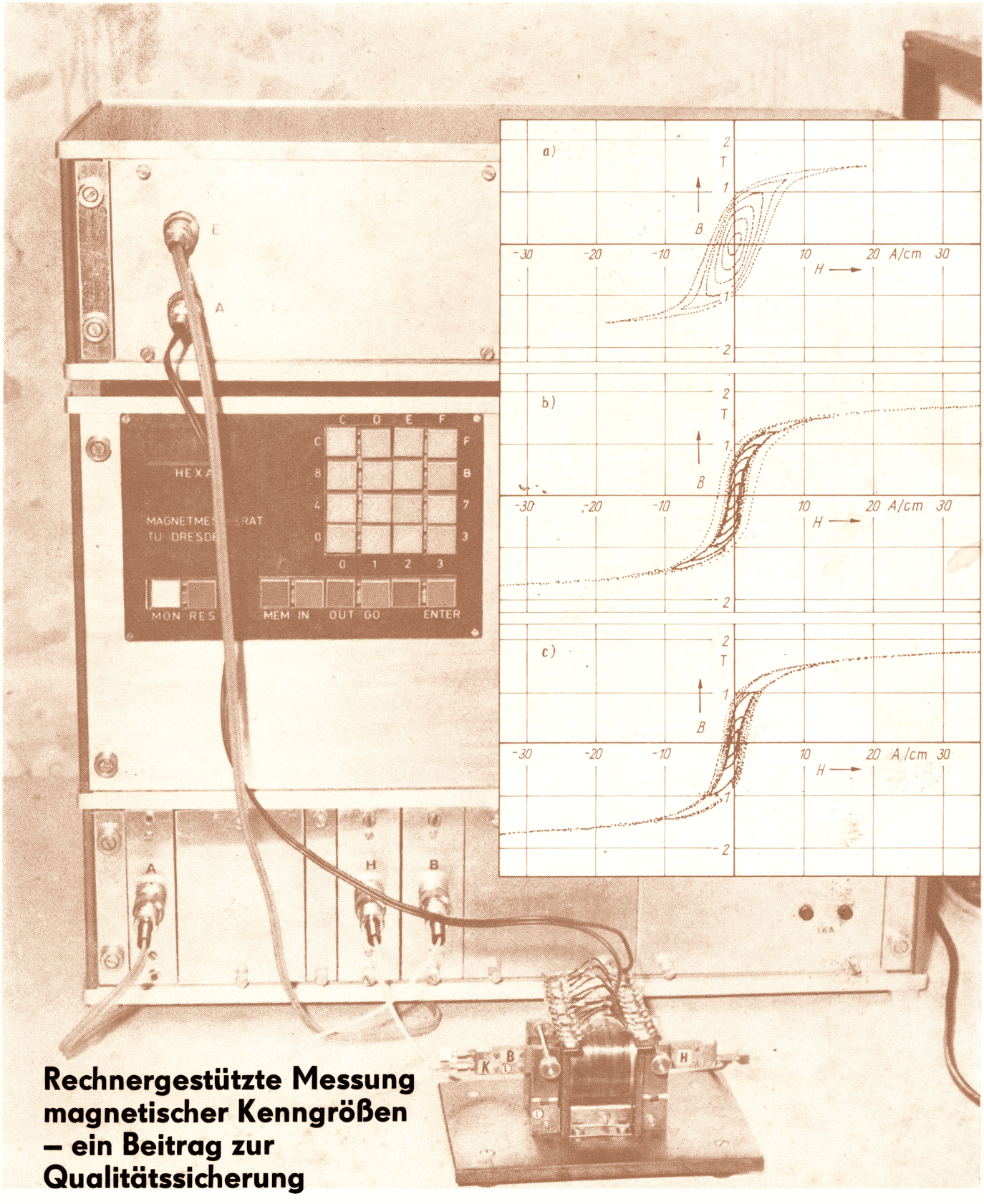
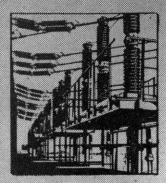
ELEKTRIE 9|88

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399

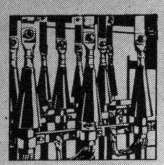


Rechnergestützte Messung magnetischer Kenngrößen – ein Beitrag zur Qualitätssicherung

Die richtigen Kabel für Sie!



Zur sicheren und ökonomischen Energie-, Nachrichten- und Datenübertragung. Nach internationalen Standards und Ihren speziellen Wünschen.
Vom feinsten Kupferlackdraht über moderne Mittelspannungs-VPE-Kabel bis zu Hochspannungskabeln, vom Schaltdraht bis zum koaxialen Trägerfrequenz- und Lichtwellenleiterkabel, vom Hochfrequenz-Sende- bis zum Empfangskabel mit den dazugehörigen Garnituren produzieren wir komplette Sortimente.
Approbationen liegen vor.
Wir bieten jahrzehntelange Erfahrungen und technisches Know-how, beraten Sie bei der Lösung Ihrer Anderwenderprobleme, vergeben Lizenzen.
Wir übernehmen die Projektierung, Lieferung und Chefmontage kompletter Kabelanlagen, die Unterweisung der Anwendermonteure sowie Ausbildung Ihrer Arbeitskräfte für die Montage und die Instandhaltung kabeltechnischer Anlagen.



Wir sind auf allen wichtigen internationalen Messen und Fachausstellungen vertreten. Zu den Leipziger Messen erreichen Sie uns in Halle 18 bzw. 22

Kombinat
VEB KABELWERK OBERSPREE (KWO)
"Wilhelm Pieck"
Wilhelminenhofstr. 76/77
DDR–Berlin
1160

KWO

Exporteur:

Elektrotechnik
EXPORT-IMPORT
VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
DDR-1026 BERLIN, ALEXANDERPLATZ
HAUS DER ELEKTROINDUSTRIE

KWO - weltweit kontaktbereit

9|88 ELEKTRIE

42. Jahrgang | Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik | ISSN 0013-5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Goldene Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e. h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. Hannella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Titelbild

Die exakte und reproduzierbare Bestimmung der magnetischen Kenngrößen von Elektroblechen ist Voraussetzung für die qualitätsgerechte Fertigung elektrischer Maschinen und Geräte.
Unser Bild zeigt das rechnergestützte Meßgerät zur Bestimmung der Kenngrößen von Dynamoband, das sich seit einem Jahr im Einsatz befindet (siehe hierzu unseren Beitrag auf den Seiten 324 bis 329 in diesem Heft).

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Inhalt

Seite

Aktuelle Informationen 322

Ermisch, J.
Schnelle Messung magnetischer Kenngrößen — ein Beitrag zur Qualitätssicherung 323

Fachaufsätze

Ermisch, J.; Milde, M.; Murawski, E.; Steinbach, H.; Thieme, F.
Rechnergestütztes Meßgerät zur Bestimmung magnetischer Kennwerte von Dynamoband 324

Melhardt, H.-J.
Störbeeinflussung von GaAs-Sensoren zur Temperaturmessung 329

Reincke, F.
Transformatormodelle für Überspannungsberechnungen bei elektromagnetischen Ausgleichsvorgängen auf Leitungen und in Schaltanlagen 331

Tackmann, K.
Berechnung des Streustromaustausches bei Gleichstrombahnen nach TGL 18790 mit dem spezifischen Arbeitsverbrauch 337

Chinkov, D.; Mischev, P.; Bozov, N.
Rechnergestützte Untersuchung der Zuverlässigkeit der Grundschaltungen von Schaltanlagen 338

Bochanky, L.; Schurig, S.
Belastungsgänge in öffentlichen Nieder- und Mittelspannungsnetzen 340

Bär, G.; Kaiser, E.; Rößiger, U.; Weist, H.
Korrosionseigenschaften und Kontaktwiderstand von AuAgNi-Werkstoffen für ungeschützte Relaiskontakte 346

Umschau

Ausstellungen 350

Fachtagungen 354

Patente 356

Bücher 357

AKTUELLE INFORMATION

Beschleunigte Einführung der Schlüsseltechnologien sowie Qualitätsbewertung und Zertifizierung von Erzeugnissen der Elektrotechnik/Elektronik auf der Basis internationaler Standards

6. Fachtagung Standardisierung

Zeit: 10. und 11. November 1988
Ort: Leipzig, Brühlzentrum
Veranstalter: Fachverband Elektrotechnik in der KDT, Kommission Standardisierung

Inhaltliche Schwerpunkte

- Beitrag zur beschleunigten Einführung der Schlüsseltechnologien
  - — CAD, CAM, CAQ
  - — Probleme der Software-Standardisierung in der DDR
  - — Lichtwellenleiter — Nachrichtenübertragung
- Beitrag der Standardisierung zur Verbesserung der Devisenrentabilität im Außenhandel
  - — Mitarbeit der DDR im RGW, der IEC, der ISO und anderen internationalen Organisationen
  - — Mitwirkung in internationalen Zertifizierungsorganen
  - — Information der Kunden über erworbene Zertifikate durch Messen, Ausstellungen, Kataloge, Verpackungen, Inserate, Betriebsanleitungen

Anfragen

und Teilnahmemeldungen sowie Vortragsanmeldungen sind schriftlich an den FV Elektrotechnik zu richten.
Kammer der Technik
Präsidium — FV Elektrotechnik
Postfach 1315, Berlin, 1086
H. Hoppe, Berlin EA 2752

Grundlagen der Modellierung und Simulationstechnik

17. Jahrestagung

Zeit: 7. bis 9. Dezember 1988
Ort: Rostock
Veranstalter: Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)

Inhaltliche Schwerpunkte

— Simulationsmethoden und -techniken
— Mathematische Modellierung von Umweltproblemen
— Mathematische Modellierung und Schaltkreisentwurf
— Simulation auf 16-bit-Mikrorechnern
— Mathematisch-theoretische Grundlagen
— Experimentell-technische Erfahrungen
— Praktische Beispiele

Anfragen

sind schriftlich zu richten an
Kammer der Technik
Präsidium — WGMA
PSF 1315, Berlin, 1086
K.-D. Müller, Berlin EA 2835

Computer- und Mikroprozessortechnik '88

Fachtagung mit internationaler Beteiligung aus den RGW-Ländern

Zeit: 15. und 16. Dezember 1988
Ort: Berlin
Veranstalter: Fachverband Elektrotechnik in der Kammer der Technik, Wissenschaftliche Sektion Computer- und Mikroprozessortechnik

Inhaltliche Schwerpunkte

— Mikroprozessorsysteme/Kundenschaltkreise
— Entwurfs- und Testsysteme
— Expertensysteme
— Personalcomputer (16 bit), Mikrorechnersystem (32 bit)
— Mikroprozeßrechner-/Steuerungssysteme
— Betriebssysteme
— Fachsprachen

Anfragen

sind schriftlich zu richten an
Kammer der Technik
Präsidium — Fachverband Elektrotechnik
PSF 1315, Berlin, 1086
H. Hoppe, Berlin EA 2800

Industrielle Wägetechnik

2. Tagung „Industrielle Wägetechnik"

Zeit: Mai 1989
Ort: Berlin
Veranstalter: Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik in der KDT, Fachunterausschuß „Kraftmeß- und Wägetechnik"; VEB Kombinat NAGEMA; VEB Robotron Meßelektronik; ASMW, Bereich Meßwesen

Inhaltliche Schwerpunkte

— Entwicklung industrieller Wägesysteme sowie dazugehörender Baugruppen
— Wägetechnik als Voraussetzung zur Beherrschung von Schlüsseltechnologien
— Wägetechnik zur Qualitätssicherung in industriellen Prozessen
— im Ratiomittelbau gefertigte prozeßspezifische Wägetechnik
— Metrologische Sicherung von Wägesystemen

Anfragen

Vortragsanmeldungen (Termin 1. September 1988) und Teilnahmemeldungen (Termin 5. Dezember 1988)
sind zu richten an
Kammer der Technik
Präsidium — WGMA
Telefon: 2265304 oder 2265518
PSF 1315, Berlin, 1086.
K.-D. Müller, Berlin EA 2852

System Modelling and Optimization

14. IFIP-Konferenz

Zeit: 3. bis 7. Juli 1989
Ort: Leipzig
Veranstalter: Sektion Mathematik und Informatik der TH Leipzig mit Unterstützung der Akademie der Wissenschaften der DDR und der Mathematischen Gesellschaft der DDR

Inhaltliche Schwerpunkte

— Optimale Steuerung
— Modellierung und Optimierung stochastischer Systeme
— Verteilte Systeme
— Lineare und nichtlineare Optimierung
— Ganzzahlige Optimierung und Optimierung in Netzwerken
— Diskrete Optimierung
— Leistungsoptimierung von Rechnerverbundsystemen
— Optimierungssoftware
— Optimierung strukturierter Systeme
— Anwendungen in der Wirtschaft, im Ingenieurwesen, in der Industrie, im Energiewesen, Transport und Verkehrswesen, in der Biomedizin, im Umweltschutz und in den Ausbildungssystemen

Es besteht die Möglichkeit, während der Konferenz Software-Entwicklungen vorzuführen.
Im internationalen Programmkomitee arbeiten u.a. mit: *A. V. Balakrishnan* (USA); *R. E. Burkhard* (Österreich); *J. Dolezal* (ČSSR); *Y. Evtushenko* (UdSSR); *J. Guddat* (DDR); *M. Iri* (Japan); *P. Kall* (Schweiz); *R. Kluge* (DDR); *J. L. Lions* (Frankreich); *M. Lucertini* (Italien/Vorsitzender); *K. Malanowski* (VR Polen); *M. Padberg* (USA); *M. J. Powell* (Großbritannien); *J. Szeleszan* (Ungarische VR); *H. Scolnik* (Argentinien); *B. Sendov* (Bulgarien); *J. Stoer* (BRD); *P. Thoft-Christensen* (Dänemark); *J. Wessels* (Niederlande); *H. Zhou* (VR China).

Anfragen

Technische Hochschule Leipzig
Sektion Mathematik und Informatik
Organisationskomitee
Postfach 66, Leipzig, 7030
H.-J. Sebastian, Leipzig EA 2801

Leistungsfähigkeit und Qualität des sozialistischen Transport- und Nachrichtenwesens

16. Verkehrswissenschaftliche Tage anläßlich des 200. Geburtstages von Friedrich List

Zeit: 12. bis 15. September 1989
Ort: Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List"
Veranstalter: Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List"

Inhaltliche Schwerpunkte

— Prozeßautomatisierung
— Logistik/Transportsysteme
— Elektrische Bahnen und Drehstromantriebstechnik
— Schienenfahrzeuge
— Telekommunikation und Gesellschaft
— Nachrichtentechnik
— Technologie und Technik des Postwesens
— Verkehrsbau und Verkehrsbaumaschinen
— Ökonomische Probleme des Personenverkehrs und des Tourismus
— Gesellschaftsstrategie und Innovation im Verkehrswesen

Anfragen

Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" Dresden
Organisationskommission 16. Verkehrswissenschaftliche Tage
Friedrich-List-Platz 1, Dresden, 8010
D. Preuß, Dresden EA 2796

Schnelle Messung magnetischer Kenngrößen – ein Beitrag zur Qualitätssicherung

Von

Dr. sc. techn. Jochen Ermisch

Bereichsoberassistent im Wissenschaftsbereich Elektrische Maschinen an der Technischen Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik

Die exakte und reproduzierbare Bestimmung der Werkstoffkenngrößen ist unabdingbare Voraussetzung für den Entwurf und die qualitätsgerechte Fertigung elektrischer Maschinen gleich welcher Art. Hierbei nimmt die meßtechnische Erfassung der magnetischen Kennwerte von Elektroblechen eine dominierende Stellung in zweierlei Hinsicht ein: Einerseits bestimmen die (oft nicht hinreichend exakt vorliegenden) Daten des eingesetzten Werkstoffs signifikant die Eigenschaften der Maschine; andererseits ist die exakte Erfassung dieser Daten mit der klassischen Meßtechnik entscheidend von der Sorgfalt des Laborpersonals und der Güte der Meßapparatur abhängig. Bekannte Meßverfahren, z. B. die Messung mit dem Epstein-Apparat sind ausgereift, sind national und international standadisiert, gerätetechnisch relativ einfach zu realisieren und werden auch noch auf Jahre hinaus Anwendung finden. Bleibt die Frage, warum weltweit an neuen Meßverfahren gearbeitet wird. Erwähnt wurde bereits die erforderliche hohe Sorgfalt bei der Durchführung der Messungen. Sorgfalt kostet Zeit. So sind zur Bestimmung der Eigenschaften einer Probe und die Auswertung einige Stunden erforderlich, hinzu kommen die Zeiten zum Aufbau und zum Einmessen der Apparatur. Damit ist praktisch von vornherein vorgegeben, daß Materialkennwerte nur von bestimmten Losgrößen bestimmbar sind und die Dimensionierung der Maschine mit relativ hohen Sicherheitsfaktoren erfolgen muß. Abgesehen davon, ermöglicht die Messung nach dem Epstein-Verfahren nur die Bestimmung der Materialeigenschaften, gemittelt über mehrere Bleche in einer Magnetisierungsrichtung mit festgelegten Abmessungen; die so gewonnenen Werte sind somit für die Auslegung elektrischer Maschinen wenig aussagekräftig.

Hersteller von Grenzleistungstransformatoren benötigen die exakten Kennwerte und deren Streuung innerhalb eines Kollis und von Kolli zu Kolli, bei der Herstellung großer Maschinen ist eine laufende Kontrolle der vom Berechner vorgebenen Toleranzen erforderlich und der Berechner von schnell laufenden Motoren für Haushaltgeräte verlangt die Kenntnis der Materialeigenschaften bezogen auf die Geometrie der Maschine, da auf Grund der Kleinheit der Maschine der technologisch bedingte Schnittkanteneinfluß und die rotierende Magnetisierung eine erhebliche Verschlechterung der Werkstoffkennwerte zur Folge hat. Somit ist generell bei der Herstellung hoch ausgelasteter Maschinen eine laufende Wareneingangskontrolle und eine Kenngrößenerfassung während der laufenden Produktion für die Qualitätssicherung von ausschlaggebender Bedeutung, sei es auch nur um Chargen für die Eignung für bestimmte Typen zu selektieren. Nicht zu verkennen ist jedoch, daß z. B. die erforderliche Probenmasse für die Epstein-Messung ausreicht, um mehrere Kleinmaschinen herzustellen! Die geeigneten Meßverfahren für die Messung von Einzelblechen erfordern jedoch einen erhöhten gerätetechnischen Aufwand (z. B. elektronisches Vektorvoltmeter), bringen aber keine Entlastung des Laborpersonals mit sich sondern erfordern meist noch mehr Sorgfalt beim Eleminieren von Fremdeinflüssen.

Der einzige Weg, eine durchgängige Qualitätskontrolle zu gewährleisten, ist auch in diesem Fall der konsequente Einsatz der Rechentechnik in Verbindung mit Meßverfahren, die praktisch nur in Verbindung mit rechnergesteuerten Meßgeräten effizient sind.

Hier sind zwar Möglichkeiten offen, jedoch zugleich Grenzen gesetzt. Es ist sinnlos über die Fülle der Möglichkeiten zu diskutieren. Bleiben die Grenzen. Das beginnt bei der Einführung eines neuen Meßverfahrens überhaupt. Niemand streitet sich über die absolute Genauigkeit der Epstein-Messung. Nach der Analyse des Feldbildes zu urteilen, mißt der Epstein-Rahmen doch recht ungenau, da aber alle den gleichen Fehler machen, stört es kaum. Schlimmer wird es schon beim Einsatz verschiedener Meßmittel, z. B. beim Hersteller oder Lieferer des Dynamobandes und beim Finalproduzenten. Glücklicherweise wurde bei der Einführung der rechnergestützten Erfassung von Werkstoffkennwerten von Dynamoband sowohl vom Hersteller als auch vom Finalproduzenten ein hohes Maß an Verständnis aufgebracht, ohne das es kaum zu einem Ersteinsatz des Meßgerätes MAGMES gekommen wäre. Sehr schnell wurde das neue Verfahren im Standard als Entwurf eingearbeitet und somit eine Grundlage für einen breiten Einsatz geschaffen.

Der Aufbau des Epstein-Rahmens ist hinreichend beschrieben, die Gerätetechnik, von wenigen Ausnahmen bei Messungen mit Frequenzen ungleich 50 Hz abgesehen, vorhanden oder leicht beschaffbar. Der Aufbau rechnergestützter Prüf- und Meßtechnik ist jedoch kaum noch von einem Labormechaniker durchführbar, vom Einmessen des Gerätes ganz zu schweigen. So hat es auch keinen Sinn, eine „Bauanleitung" zu erarbeiten und Interessenten zur Verfügung zu stellen. (Die Gerätetechnik wäre zwar vorhanden, aber mit Sicherheit nicht reproduzierbar.) Damit erhebt sich wie so oft der Ruf nach einem Hersteller. Bedarf ist für derartige Geräte vorhanden. Es ist sicher nicht die Aufgabe einer Hochschule bedarfsdeckend Geräte für die Industrie zu produzieren, zu vertreiben und den Service zu übernehmen. Bleibt zu hoffen, daß auch dieses Problem bald eine Lösung findet, damit MAGMES nicht das Schicksal vieler anderer guter Lösungen ereilt: Es gibt 2 bis 3 Mustergeräte und Bedarf, der in Resignation endet.

Mit MAGMES ist sicher nicht für alle Zeiten das Problem der Erfassung magnetischer Kennwerte gelöst, jedoch hat bereits das Mustergerät einem Betrieb geholfen, die Qualität seiner Erzeugnisse zu sichern, den Entwicklungsingenieuren verbesserte Kennwerttabellen zur Verfügung zu stellen und in erheblicher Größenordnung Arbeitszeit für das Laborpersonal einzusparen. Daß die eingesparte Arbeitszeit für die eigenen Meßaufgaben für „Dienstleistungsmessungen" aufgewandt wurde, spricht nicht gegen MAGMES.

EA 2861

Rechnergestütztes Meßgerät zur Bestimmung magnetischer Kennwerte von Dynamoband

**J. Ermisch; M. Milde; F. Thieme; Dresden;
E. Murawski; H. Steinbach; Karl-Marx-Stadt**

Zur Erfassung magnetischer Kennwerte von Elektroblechen sind verschiedene Verfahren bekannt. Das bekannteste und zugleich international anerkannteste Verfahren ist die Messung mit dem Epstein-Rahmen. Nationale und internationale Normen [1] [2] [3] beschreiben dieses Verfahren eindeutig und ermöglichen Vergleichsmessungen. Dem entgegen stehen bekannte Nachteile, wie

— große Probenmasse
— hoher Magnetisierungsbedarf
— eingeengter Frequenzbereich und
— hoher manueller Bedienaufwand der Apparatur.

Eine automatische Meßwerterfassung ist nur durch hohen gerätetechnischen Aufwand möglich.
Im folgenden Beitrag wird ein rechnergestütztes Meßgerät beschrieben, das eine automatische Erfassung der Kenngrößen von Ferromagnetika ermöglicht, wobei mit kleinen Probenmassen gearbeitet werden kann. Die Vergleichbarkeit der Meßergebnisse zur Epstein-Messung kann nachgewiesen werden. Mit dem Meßgerät, das an der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik entwickelt wurde, können magnetische Kennwerte in etwa 10 min erfaßt und ausgewertet werden. Das Gerät kann vom Laborpersonal ohne Spezialkenntnisse betrieben werden.

1. Meßgerätekonzeption

1.1. Struktur des Meßgerätes

Im Bild 1 ist das Blockschaltbild des rechnergesteuerten Magnetmeßgerätes dargestellt.
Der Meßrechner MR wird von einem übergeordneten Rechner (PC oder BC) über eine Standardschnittstelle gesteuert. Der Meßrechner enthält neben der notwendigen Konfiguration (CPU, RAM, ROM, PIO) folgende gerätespezifische Funktionsgruppen:

— Rechnergesteuerte umschaltbare Eingangsverstärker (EV)
— Analog-Digital-Umsetzer (ADU) mit zugeordneter Sample-and Hold-Schaltung
— freiprogrammierbarer Funktionsgenerator (FG) (in einer Minimalkonfiguration Einsatz eines digitalen Sinusgenerators)
— rechnergesteuertes Dämpfungsglied (DG)
— Leistungsverstärker (LV)
— Magnetisierungseinrichtung (ME).

Die zu untersuchende Werkstoffprobe befindet sich in einer Magnetisierungseinrichtung, die eine Magnetisierungsspule sowie Spulen zur Erfassung der magnetischen Induktion und der magnetischen Feldstärke hat. Den beiden Meßspulen ist jeweils ein digital umschaltbarer Verstärker zugeordnet. Jeder Verstärker arbeitet auf je einen Analog-Digital-Umsetzer mit Abtast- und Halteschaltung.
Die Magnetisierungsspule wird von einem Leistungsverstärker angesteuert, der in der Lage ist, auch Lasten mit kleinem cos φ zu treiben (sogenannter „rückspeisefester Verstärker"). Die Erregerspannung wird nach Form und Frequenz von dem programmierbaren Funktionsgenerator erzeugt, der stets Spannungen mit der maximalen Amplitude abgibt. Die Abschwächung der Erregerspannung erfolgt mit einem digital gesteuerten Dämpfungsglied, das mit einem 2-Byte-Wort angesteuert wird. Nachfolgend werden die wichtigsten Merkmale dieser Baugruppen dargestellt.

Dr. sc. techn. *Jochen Ermisch* ist wissenschaftlicher Oberassistent; Dipl.-Ing. *Manfred Milde* ist Mitarbeiter EAW und Dipl.-Ing. *Frank Thieme* ist wissenschaftlicher Assistent an der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik; Doz. Dr. sc. techn. *Heinz Steinbach* ist Dozent an der TU Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik, und war zur Zeit der Abfassung des Beitrages Mitarbeiter im Ingenieurbüro Elektrogeräte Karl-Marx-Stadt; Dipl.-Ing. *Eva Murawski* ist Mitarbeiterin im Ingenieurbüro Elektrogeräte Karl-Marx-Stadt.

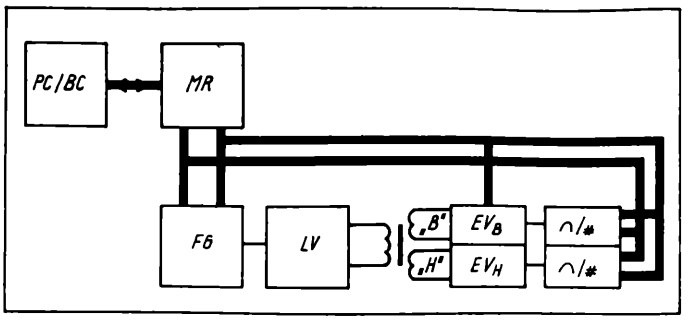


Bild 1. Blockschaltbild
PC/BC Personalcomputer 8 oder 16 bit; MR geräteinterner Mikrorechner; FG Funktionsgenerator; LV Leistungsverstärker; EV_B Eingangsverstärker Induktion; EV_H Eingangsverstärker Feldstärke; ∩/# Analog-Digital-Umsetzer

• Eingangsverstärker

Die Eingangsverstärker für *B*- und *H*-Messung sind identisch. Vor den Differenzverstärkern A1 und A2 sind je ein Teiler angeordnet, die über eine Relaismatrix an die Eingänge der Differenzverstärker geschaltet werden können.
Der Einsatz von elektronischen Schaltern verbietet sich, da insbesondere bei hohen Aussteuerungen der Probe Spannungen in den Meßwicklungen induziert werden können, die weit die zulässige Eingangsspannung der elektronischen Schalter überschreiten können. Als Relais kommen Reed-Relais zum Einsatz. Eine genaue Kalibrierung des Übertragungsverhaltens der Verstärker ist nicht notwendig, da sowohl der Übertragungsfaktor als auch geringfügige Offsetspannungen beim Einmessen der Baugruppen vom Rechner bzw. während der automatischen Meßbereichswahl erfaßt und als Korrekturfaktor bei der Auswertung zur Verfügung stehen.

• Analog-Digital-Umsetzer

Als Analog-Digital-Umsetzer kommt die IS C571 D und als Sample-and-hold-IS der Schaltkreis K 1100 SK 2 zum Einsatz. Die Verwendbarkeit des Meßgerätes auch bei höheren Frequenzen verbietet den Einsatz von Multiplexern. Deshalb werden beide Umsetzer zum gleichen Zeitpunkt getriggert. Die Abfrage der Daten durch den Rechner erfolgt nach Anliegen des Signals „READY", das aus dem Signalspiel Löschen/Setzen und STATUS beider ADU-Schaltkreise gebildet wird. Das Einlesen der Meßwerte beginnt sofort nach Fertigmeldung. Der Einsatz der sowjetischen Sample-and-hold-Schaltung K 1100 SK 2 erfordert die Bereitstellung einer zusätzlichen Versorgungsspannung von P12 und N12. Der zusätzliche Aufwand von zwei Festspannungsreglern auf der Umsetzerbaugruppe brachte aber zugleich den Vorteil des stabilen Betriebs der Umsetzerbaugruppe auch bei kleinen Eingangsspannungen.
Auch die Offsetwerte dieser Baugruppe werden während des Einschaltzyklus gespeichert und mit eingerechnet, so daß lediglich die Einstellung der Offsetwerte beim Einmessen der Baugruppe erforderlich ist, nicht aber die Kontrolle dieser Werte während des Betriebes des Gerätes.

• Funktionsgenerator

Entsprechend der vom Leitrechner vorgegebenen Werte organisiert der Meßrechner die Ansteuerung des Funktionsgenrators. Im einfachsten Fall werden Adreßzähler für ein 2-kByte-EPROM durch eine programmierbare Takterzeugung getaktet. Nach Digital-Analog-Umsetzung (im Mustergerät 12-bit-Umsetzung) steht ein sinusförmiges Signal zur Verfügung. Zur Gewährleistung einer möglichst hohen Auflösung wird der Digital-Analog-Umsetzer voll ausgesteuert, so daß am Ausgang des Digital-Analog-Umsetzers eine Spannung von 10 V (Spitzenwert) entsprechender Frequenz zur Verfügung steht. Beim Einsatz eines freiprogrammierbaren Funktionsgenerators wird ein RAM mit dem (vorher berechneten) Funktionsverlauf der Erregerspannung geladen. Auf diese Weise ist ein sinusförmiger Verlauf für Feldstärke und Induktion realisierbar. Die Frequenz ist quarzgenau einstellbar. Die obere Grenzfrequenz liegt bei 5 kHz.

• Digitales Dämpfungsglied

Zum Einsatz kommen Digital-Analog-Umsetzer, als deren Referenzspannung die Ausgangsspannung des Funktionsgenerators dient und deren Dateneingänge über entsprechende Adreßdecoder und Bustreiber am Datenbus des Meßrechners angeschlossen sind. Die Spannung kann mit einem 12-bit-Digital-Analog-Umsetzer auf etwa 0,00002 V in Stufen gedämpft werden, so daß praktisch eine entsprechend feine Stufung der Erregerspannung realisierbar ist.

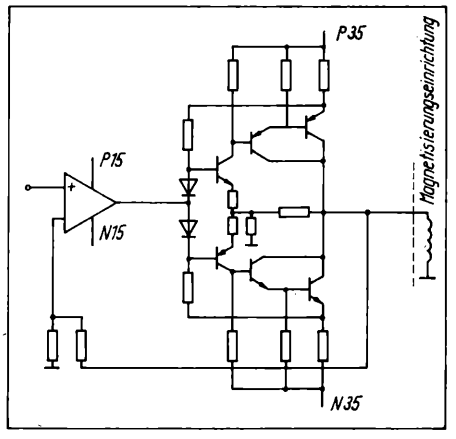


Bild 2
Grundstruktur Leistungsverstärker

• Leistungsverstärker

Die Größe des Leistungsverstärkers hängt von der Auslegung des Magnetisierungsjochs ab. Beim Einsatz eines „Mini-Jochs" reichen 200 VA Leistung auch bei höheren Magnetisierungsfrequenzen aus. Beim Einsatz eines Epstein-Rahmens sind Verstärker bis zu 2 kVA erforderlich [6].

Der Ausgang des Leistungsverstärkers muß offsetspannungsfrei sein. In Anbetracht der hohen Blindleistung kommt ein sogenannter „rückspeisefester Leistungsverstärker" zum Einsatz. Die Grundschaltung dieses Verstärkers ist im Bild 2 dargestellt.

1.2. Interner Steuerrechner

Der interne Steuerrechner zur Steuerung und Überwachung des Meßablaufs, der Meßwerterfassung und der Meßwertvorverarbeitung ist auf der Basis des K1520-Bussystems aufgebaut. Als zentrale Recheneinheit dient eine ZRE K2521. Die Kopplung mit dem übergeordneten Leitrechner erfolgt mit der seriellen Anschlußsteuerung ASS K8025 wahlweise über einen IFSS- oder V.24-Kanal. Eine Operativspeicherbaugruppe mit einer Kapazität von mindestens 4 kByte dient der Speicherung der Meßwerte, Zwischenergebnisse und Hilfstabellen. Mit einer speziell für diesen Anwendungsfall entwickelten K1520-kompatiblen Baugruppe erfolgt die Kopplung zwischen Steuerrechner und den Baugruppen Meßverstärker, Analog-Digital-Umsetzer und digitalem Dämpfungsglied. Außerdem befinden sich auf dieser Baugruppe ein programmierbarer Frequenzteiler, eine Binärzählerkette und eine programmierbare Digitalwertkomparatorschaltung. Der programmierbare Frequenzteiler leitet einen Takt aus dem Zentraltakt ab, der eine Zählerkette ansteuert. Die vom Zähler erzeugten Binärworte werden dem Digitalwertkomparator und über den Koppelbus dem digitalen Funktionsgenerator zugeführt. Bei Gleichheit zwischen Zählerstand und dem vom Rechner in das Datenregister des Digitalwertkomparators eingeschriebenen Binärwortes (11 bit) wird ein Triggersignal für beide Analog-Digital-Umsetzer erzeugt. Der digitale Funktionsgenerator besteht aus einem Speicherblock, der durch die Zählerkette zyklisch adressiert wird, und einem 12-bit-Digital-Analog-Umsetzer. Im Speicher ist die zu erzeugende Funktion binärcodiert abgelegt. Mit dem Digital-Analog-Umsetzer erfolgt die Wandlung in ein analoges Signal. Der Speicher ist hier ein Festwertspeicher. Als Erweiterung ist der Einsatz eines RAM-Speichers vorgesehen, mit dessen Hilfe entsprechend der Meßaufgabe beliebige Funktionen generiert werden können.

Mit der beschriebenen Schaltungsstruktur ist es möglich, sowohl exakt reproduzierbare Erregerfunktionen zur Probenaussteuerung als auch reproduzierbare Abtastphasen der Meßsignale bezogen auf das Erregersignal zu realisieren. Letzteres ist insofern wesentlich, da im Hinblick auf die erforderlich hohe Zahl der Abtastpunkte (512) das Samplingverfahren angewendet werden muß. Zu Inbetriebnahme- und Servicezwecken ist der Steuerrechner mit einer einfachen Bedieneinheit ausgerüstet, die über ein PIO-Port der ZRE in Verbindung mit einem Monitorprogramm den Zugriff auf Eingabe-Ausgabetore, den Speicher und Programmaufrufe ermöglicht. Diese Baugruppe hat auf den eigentlichen Meßablauf keinen Einfluß. Die Stromversorgung des Steuerrechners und der peripheren Baugruppen übernehmen konventionell aufgebaute Längsregler, da sich der Einsatz von derzeit verfügbaren Schaltreglern wegen der für diesen Anwendungsfall zu hohen Störpegel verbietet.

1.3. Software

• Steuerprogramm

Das Steuerprogramm des internen Steuerrechners ist ROM-resistent abgelegt. Es besteht aus Initialisierungsprogramm, Hauptprogramm, Monitorprogramm und einer Vielzahl von Unterprogrammen. Da die wesentlichen Programmteile zeitkritisch sind, wurde das Steuerprogramm in U880-Assemblersprache geschrieben. Das Initialisierungsprogramm realisiert die Initialisierung der CPU, PIO, der seriellen Anschlußsteuerung, das Löschen der Speicher und stellt einen definierten Anfangszustand der peripheren Baugruppen her. Durch das Hauptprogramm erfolgt je nach Steuerinformation die Verzweigung zu den entsprechenden Unterprogrammen und ein definierter Neustart nach Beendigung einer Messung. Nach Initialisierung wird durch das Hauptprogramm ein Steuerdatenblock vom Leitrechner erwartet. Liegt ein gültiger Datenblock vor, arbeitet der Steuerrechner selbständig weiter. Der Steuerdatenblock enthält alle erforderlichen Informationen, wie Aussteuerungssollwert, Frequenz, Betriebsart (Entmagnetisierung Ja/Nein, Aussteuerung nach B/H) und Anfangswert für die einzustellenden Meßbereiche. Die Entmagnetisierung geschieht durch allmähliche Erhöhung der Aussteuerung bis zum Maximum und anschließende Verringerung auf Null. Als Entmagnetisierungsfrequenz wurden 400 Hz gewählt. In Abhängigkeit von der Magnetisierungsfrequenz wird nachfolgend eine Einstellung des Frequenzteilers und eine Zeitoptimierung der Sampling-Abtastung vorgenommen. Die berechneten Abtastwinkel werden in einer Tabelle abgelegt. Dem schließt sich eine iterative Aussteuerungsregelung an. Durch das iterative Verfahren wird die Zeitdauer des Regelvorgangs bei minimaler Regelabweichung in vertretbaren Grenzen gehalten. Den zeitkritischen und größten Teil des Programms bildet die Meßwerterfassung und Vorverarbeitung mit anschließender Scheitelwertbestimmung. Dieser Programmteil enthält die Sampling-Abtastung der von der Magnetisierungsmeßeinrichtung gewonnenen Signale, die den zeitlichen Ableitungen von Feldstärke und Induktion proportional sind, die numerische Meßwertintegration mit gleitender Mittelwertbildung, die numerische Offsetkorrektur, die Scheitelwertbestimmung und die Meßbereichsoptimierung. Genannter Programmteil muß während der Aussteuerungsregelung nach jeder Änderung der Aussteuerung durchlaufen werden, so daß er maßgeblich die Dauer der Regelung und somit des gesamten Meßvorgangs bestimmt. Nach der Aussteuerungsregelung erfolgt nochmals eine Abtastung und Vorverarbeitung für beide Meßkanäle. Anschließend werden die Stützstellen für eine volle Periode beider Signale, der Index der Maxima und Informationen über die verwendeten Meßbereiche als Datenblock im Integerformat an den Leitrechner übergeben. Alle arithmetischen Operationen werden im Steuerrechner als speziell auf den Anwendungsfall zugeschnittene Festkommaoperationen mit 16 bzw. 23 bit Wortbreite ausgeführt.

• Bedien- und Auswerteprogramm

Das Bedien- und Auswerteprogramm realisiert in Verbindung mit einem Personal- oder Arbeitsplatzcomputer die menügeführte Eingabe aller erforderlichen Parameter und Steueranweisungen, wie Probenabmessungen, Dichte, Betriebsart (Entmagnetisierung Ja/Nein, Aussteuerung nach B/H), Frequenz und Sollwert. Aus den Eingabedaten werden die Steuerdaten berechnet und als Block an den Steuerrechner übergeben. Nach beendeter Messung werden die Meßdaten als relative, auf den Meßbereich bezogene Werte und Zusatzinformationen vom Steuerrechner empfangen. Es folgt eine Umrechnung in absolute Werte. Es kann im weiteren eine Berechnung der spezifischen Verlustziffer, die graphische Ausgabe der Hystereseschleife, tabellarische Ausgabe der Scheitelwerte, Speicherung auf Massendatenträgern usw. erfolgen. Das Bedien- und Auswerteprogramm realisiert in gewissen Grenzen einen Schutz vor Fehlbedienung durch Überprüfen der Eingaben auf Zuverlässigkeit. Bei Störungen der Datenübertragung und bei größeren Abweichungen vom Sollwert erfolgt eine Fehlermitteilung. Dieses Programm wurde in einer höheren Programmiersprache erstellt, so daß es vom Anwender entsprechend der Erfordernisse einfach modifiziert werden kann. Lediglich das Treiberprogramm für die serielle Kopplung ist in Z80-Assemblersprache geschrieben.

2. Magnetisierungsmeßeinrichtungen

Zur Realisierung der Meßaufgaben von Elektroblechherstellern und -anwendern, physikalischer sowie technologischer Untersuchungen an Elektroblechen und auch amorphen Bändern unter Standard- und in gewissem Umfang unter Betriebsbedingungen wurde ein System von Magnetisierungsmeßeinrichtungen (Sensoren) entwickelt, für das der entsprechende Standard vorbereitet wird. Für hochgenaue Messungen werden modifizierte Meßjoche nach

dem Grundprinzip von *Koppelmann*, für Prüf, und Schiedsmessungen der standardisierte 25-cm-Epstein-Rahmen eingesetzt.
Weitere Sensoren sowohl für die Bestimmung ausgewählter magnetischer Kenngrößen von Blechtafeln (in der Regel bei Netzfrequenz bzw. einer Frequenz von 400 Hz) als auch für spezielle Messungen des Werkstoffphysikers im absolut homogenen Feld unterschiedlicher Frequenz werden zu einem späteren Zeitpunkt das Gerät komplettieren.
Von Ring- und Schichtkernen können neben den üblichen magnetischen Parametern auch Phasenwinkelkennlinien (Stromwandlereinsatz) in kurzer Zeit ermittelt werden.
Alle Sensoren sind modular aufgebaut und können ohne Eingriffe in die Hard- und Software des Regel- und Auswertesystems betrieben werden.

2.1. Aufbau und Wirkungsweise der Meßjoche — Meßprinzip

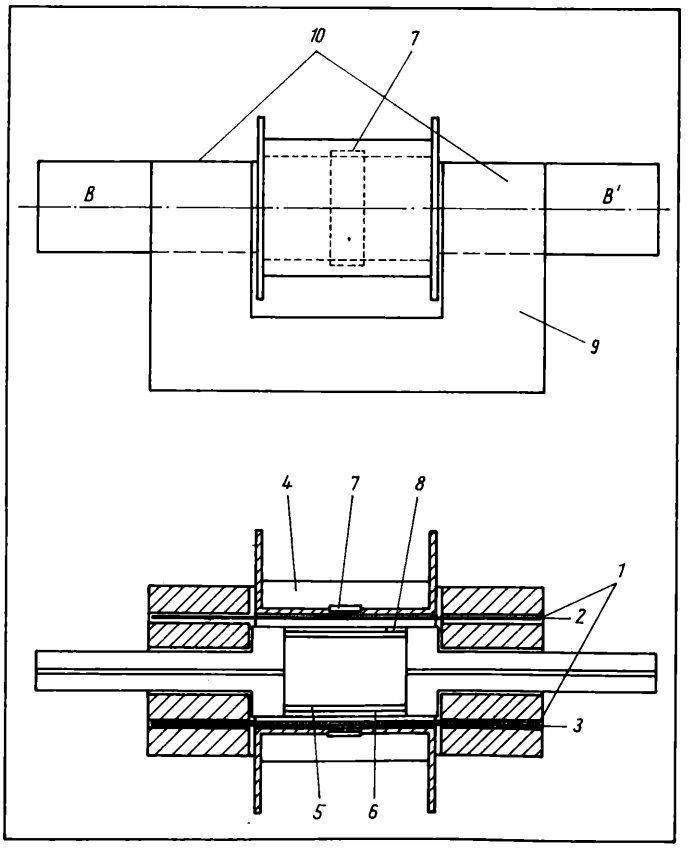
Zur Grundausstattung des Meßgeräts gehören drei Zweistreifenjoche für Probenlängen von 7 cm, 14 cm, und 28 cm (Epstein-Abmessungen). Im Bild 3 ist ihr grundsätzlicher Aufbau dargestellt. Eine Probe (1), die aus zwei Blechstreifen (2 und 3) besteht, befindet sich in einer langen Spule (4), die vom Magnetisierungsstrom durchflossen wird. Im Bereich des relativ homogenen Feldverlaufs befindet sich eine Sonde (5). Diese Sonde besteht aus einem nichtmagnetischen Träger mit einer Aussparung, in der eine bifilare Wicklung (6) angeordnet ist (Feldstärke-Meßeinsatz). Die Teile der bifilaren Wicklung dienen zur Erfassung der magnetischen Feldstärke und zur Luftflußkompensation. Die Sonde liegt ohne nennenswerten Luftspalt an den Blechstreifen (2, 3) an. Dicht um die Sonde (5) und um die Probe (1) ist die Induktionsmeßwicklung (7) angebracht.
Es ist möglich, die relative Meßunsicherheit durch eine weitere, in ihrer Lage veränderliche Kompensationsspule (8), die mit der Wicklung (6) in Reihe geschaltet ist, zu verringern. Der Fehler der Luftflußkompensation kann kleiner 10^{-5} garantiert werden.
Außerhalb der Magnetisierungsspule (4) befindet sich ein Joch (9). Dieses Joch bildet den magnetischen Rückschluß und hat einen etwa 10fach größeren Querschnitt als die Proben mit maximal zulässigem Querschnitt. Querschnitt und Materialauswahl für das Joch sowie die Dimensionierung der Magnetisierungsspule erfolgten mit dem Ziel, einen minimalen Scheinleistungsbedarf des Sensors in Verbindung mit einer Minimierung des durch die Aufteilung des magnetischen Spannungsabfalls entstehenden Feldstärkemeßfehlers zu erreichen.
Die Blechstreifen werden durch den Verschluß (10) und durch bewegliche Teile fest an das Joch gepreßt. Durch eine planparallele und großflächige Gestaltung der Andruckflächen ist der Einsatz von verschieden starken Proben in einem Bereich von etwa 10 µm bis 1,5 mm möglich.
Sowohl die Untersuchung technologischer Einflüsse in verschiedenen Bereichen längs der Probe als auch die Prüfung von langen Bändern im Herstellungsprozeß ist durch die beschriebene Einrichtung gewährleistet. Die Ansteuerleistung ist bis in die Sättigung und bei hohen Frequenzen gering.
Trotz automatischer Pegelumschaltung zur optimalen Verarbeitung der Meßsignale durch den Prozeßrechner machen es die angestrebte hohe Empfindlichkeit und der hohe Dynamikbereich der Meßeinrichtung erforderlich, Pegelbereichsumschaltungen direkt am Sensor vornehmen zu können. Für den Induktionsmeßbereich erfolgt das durch Wicklungsumschaltung, für den Feldstärkemeßbereich durch Wahl des geeigneten Meßeinsatzes, vor der Durchführung der Messung. Für den Bediener bedeutet das die Eingabe einer Zahl nach Abfrage durch den Leitrechner.
Ein Kardinalproblem der magnetischen Messungen ist die Vergleichbarkeit der mit verschiedenen Meßeinrichtungen erzielten Ergebnisse. Untersuchungen der hier beschriebenen Sensoren mit modernen Methoden der Feldberechnung zeigten wesentliche Unterschiede in der Aussteuerungscharakteristik der Proben durch folgende Faktoren:

a) Anordnung der Probe im Gesamtsystem (unterschiedlicher Homogenitätsfehler von Feldstärke und Induktion in Quer- und Längsrichtung der Probe)
b) Gestaltung und Berücksichtigung der Überlappung bei geschlossenen Kreisen aus Probematerial sowie Gestaltung des Übergangs Probe — Rückschlußjoch
c) geometrischer und wicklungstechnischer Aufbau sowie Lage der Magnetisierungswicklung im Gesamtsystem
d) Fähigkeit der Quelle zur Bereitstellung des erforderlichen Oberwellenspektrums
e) Verhältnis von Resistanz/Reaktanz (R/X-Verhältnis) der Magnetisierungswicklung.

Eine einheitliche Realisierung der von a) bis d) genannten Forderungen für alle im Meßgerät eingesetzten Sensoren vorausgesetzt, erhält das Erreichen eines gleichen R/X-Verhältnisses für die Vergleichbarkeit der Messungen (Standardbedingungen) eine besondere Bedeutung.
Eine 10fache Erhöhung des R/X-Verhältnisses beim Epstein-Rahmen ergab bei gleicher Probe eine Verdopplung der spezifischen Ummagnetisierungsverluste.
Zur variablen Einstellung oder zum Einstellen eines Festwertes des R/X-Verhältnisses bestehen alle Magnetisierungswicklungen der eingesetzten Sensoren aus mehreren Wicklungsabschnitten unterschiedlicher Reaktanz, zu denen wahlweise Widerstandsnetzwerke derart geschaltet werden, daß die Impedanz der Gesamtschaltung den Wert der größten realisierbaren Reaktanz nicht überschreitet. Damit kann das R/X-Verhältnis feinstufig den vorgesehenen Praxisanforderungen (Betriebsbedingungen) angepaßt werden.
Einen weiteren Vorteil ergibt diese Wicklungsgestaltung bei der Aussteuerungseinstellung des Leistungsverstärkers entsprechend dem Magnetisierungsbedarf des Sensors durch den digitalen, freiprogrammierbaren Funktionsgenerator und ein digitales Stellglied. Je nach Funktionsart und damit verbundener Nichtsinusförmigkeit des Magnetisierungsstroms kann die günstige Reaktanz durch den Rechner ausgewählt werden.
Entsprechend der Magnetisierungseinrichtung sind folgende Probenabmessungen erforderlich:

• 7-cm-Joch	
Länge	$\geqq$ 50 mm; Vorzugsmaß 70 mm
Breite	5 · · · 15 mm; 10 mm
Dicke	0,2 · · · 1,5 mm; 0,5 mm
Parallelität der Breite	$\pm$ 0,15 mm
Anzahl der Probestreifen	2
• 14-cm-Joch	
Länge	$\geqq$ 100 mm; Vorzugsmaß 140 mm
Breite	5 · · · 15 mm; 10 mm
Dicke	0,01 · · · 1,0 mm
Anzahl der Probestreifen	2
• 28-cm-Joch	
Länge	$\geqq$ 260 mm; Vorzugsmaß 280 mm
Breite	10 · · · 32 mm; 30 mm
Dicke	0,05 · · · 1,0 mm; :0,35 mm
Anzahl der Probestreifen	2

Bild 3. Grundsätzlicher Aufbau der Meßeinrichtung



• Epstein-Rahmen

Länge	280 · · · 308 mm
Breite	30 mm ± 0,2 mm
Dicke	0,35 · · · 1,0 mm
Anzahl der Probestreifen	mindestens 12

3. Anwenderergebnisse

Das Labormuster des Meßgeräts wurde in mehr als 200 Messungen getestet. Dabei wurde sowohl die Reproduzierbarkeit der Messungen als auch die Vergleichbarkeit der Meßergebnisse mit denen des Epstein-Rahmens nach TGL STRGW 2858-81 ausgewertet. Die Messungen wurden an unterschiedlichen Dynamobandqualitäten durchgeführt (BSFK ungeglüht, BSK 55,D 3.6, V 530-50 A), so daß auch der mögliche Einfluß der Materialeigenschaften auf Grenzwerte der Meßeinrichtung ermittelt werden konnte.
Eine Zusammenstellung der durchgeführten Messungen ist in [4] zu finden.

3.1. Probenherstellung

Die minimale Breite der im Kombinat VEB Elektrogerätewerk Suhl verarbeiteten Spaltbänder beträgt 58 mm. Um sowohl in als auch quer zur Walzrichtung messen zu können, wurde das Minimeßjoch benutzt, das das Messen sehr kleiner Proben zuläßt.
Die möglichen Abmessungen der Proben sind:

Länge	50 · · · 75 mm
Breite	5 · · · 15 mm
Dicke	0,35 · · · 1,0 mm.

Blechproben dieser Abmessungen können im Minijoch aufgenommen werden. Es hat sich gezeigt, daß sehr kurze Streifen zu kleineren Wiederholgenauigkeiten der Meßeinrichtung führen. Deshalb werden Probestreifen der Länge 63 · · · 70 mm bevorzugt. Im Bild 4 ist das Joch mit dem Meßeinsatz zur Feldstärkemessung dargestellt.
Die Probenherstellung erfolgt zur Zeit manuell. Die Herstellung eines Werkzeuges ist in Vorbereitung.
Da die Abmessungen direkt in die Meßergebnisse eingehen, ist die Eingabe der Breite und der Dicke der Probestreifen mit einer Auflösung von 0,01 mm notwendig.
Außerdem wurde während der Erprobung festgestellt, daß auf die Parallelität der Probestreifen Wert gelegt werden muß. Die Breitendifferenz darf 0,1 mm zwischen den Einspannstellen nicht überschreiten.

3.2. Funktionserprobung

Im Rahmen der Funktionserprobung des Meßgeräts wurden Bewertungen und Vergleiche nach folgenden Kriterien vorgenommen:

— Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse
— Festlegung der Meßgrenzen
— Vergleichbarkeit der Meßergebnisse mit dem Epstein-Rahmen
— Einfluß der Entmagnetisierung.

Einige Ergebnisse der Funktionserprobung werden nachfolgend behandelt.

• Meßmöglichkeiten und Meßgrenzen

Mit Hilfe der vorgestellten Meßeinrichtung können alle interessierenden Messungen mit Wechselstrommagnetisierung durchgeführt werden. Im Rahmen der Meßgeräteerprobung wurden folgende Messungen durchgeführt:

— Aufnahme der Magnetisierungskennlinie $B = f(H)$ bei verschiedenen Frequenzen
— Bestimmung der spezifischen Verluste $V = f(B, f)$ bei verschiedenen Induktionen und Frequenzen
— Ermittlung der Anisotropie der magnetischen Induktion und der spezifischen Verluste
— Bestimmung des Alterungskoeffizienten der spezifischen Verluste.

Mit den aus den Messungen gewonnenen Meßergebnissen konnte nachgewiesen werden, daß das rechnergestützte Meßgerät alle Meßmöglichkeiten des Epstein-Rahmens hat.
In Abhängigkeit von der Werkstoffqualität wurden die Grenzen der Meßeinrichtung bestimmt. Es konnte festgestellt werden, daß die eingestellten Aussteuerungswerte keinen Einfluß auf die Reproduzierbarkeit der Meßeinrichtung haben.
Für die einzelnen Werte wurden mit dem im Abschn. 3.1. dargestellten Meßjoch folgende Meßbereiche festgestellt:

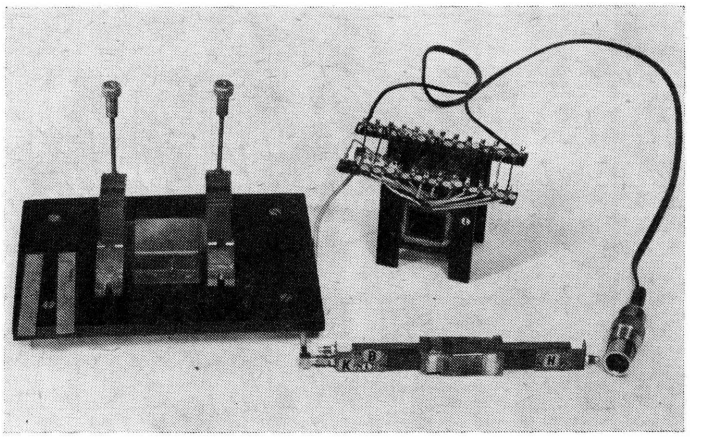


Bild 4. Muster einer Meßeinrichtung

1. Frequenz

Minimale Frequenz 20 Hz
Maximale Frequenz (probenabhängig)
bei $B = 1{,}0$ T, 800 Hz
bei $B = 0{,}5$ T, 1600 Hz

2. Feldstärke (bei Aussteuerung nach H)

Minimale Feldstärke 0,5 A/cm
Maximale Feldstärke 350 A/cm

3. Induktion (bei Aussteuerung nach H)

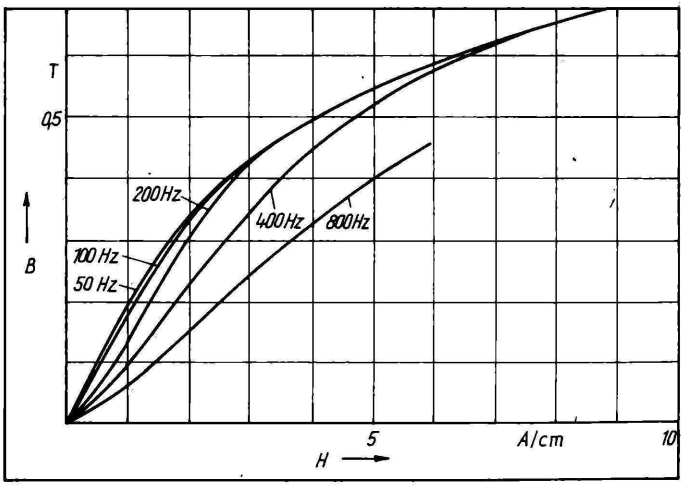
Minimale Induktion 0,3 T
Maximale Induktion 2,2 T (Sättigung).

Damit ergeben sich mit der rechnergestützten Meßeinrichtung, insbesondere durch den großen Frequenzbereich, Möglichkeiten, die über denen der bisher verwendeten Meßeinrichtungen liegen. Dieser Fakt ist besonders wichtig im Hinblick auf die Untersuchung des Verhaltens von weichmagnetischen Werkstoffen bei Induktionen höherer Frequenz, wie sie z. B. bei wechselrichtergespeisten Asynchronmaschinen entstehen.
Mit dieser Meßeinrichtung ist es deshalb auch möglich, Magnetisierungskennlinien in Abhängigkeit von der Frequenz zu messen. Ein Beispiel ist im Bild 5 für die Dynamobandqualität BSK 55 dargestellt. Da die Werte der Ummagnetisierungskurve in der Meßeinrichtung gespeichert werden, ist es möglich, diese Kurven darzustellen (Bild 6). Außerdem ist damit ein direkter Vergleich des Verhaltens verschiedener Werkstoffe möglich.

• Reproduzierbarkeit

Die Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Messungen magnetischer Eigenschaften sollte nach [1] durch Vergleichsmessungen an beglaubigten Normalen erfolgen. Diese Standardproben lagen zum Zeitpunkt der Untersuchung der Meßeinrichtung in den Abmessungen, die für das Minijoch gebraucht werden, nicht vor.
Um dennoch Aussagen zur Reproduzierbarkeit zu erhalten, wurden über 100 Messungen an einer Längs- und einer Querprobe der

Bild 5. Aufgenommene Magnetisierungskennlinien BSK 55
Parameter: Frequenz



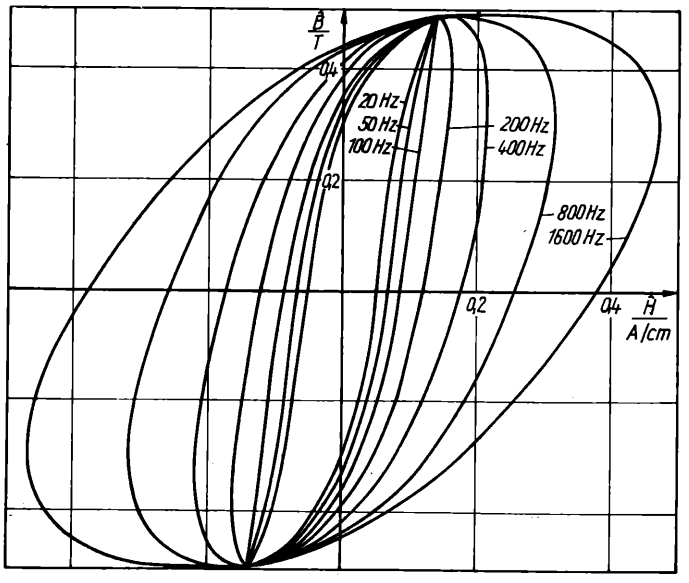


Bild 6. Ummagnetisierungskurven BSK 55 bei $B = 0{,}5$ T für verschiedene Frequenzen

Dynamobandqualität BSK 55 unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt.

Meßbedingungen

— Messungen mit sofortiger Wiederholung

— Messungen, die nach 5 min wiederholt wurden

— Messungen mit mehr als 24 h Unterbrechung und Ein- und Ausbau der Probestreifen

— Messungen mit Ein- und Ausbau der Probestreifen.

Unter diesen Bedingungen wurden für die interessierenden Werte der magnetischen Induktion und der spezifischen Verluste folgende Wiederholgenauigkeiten festgestellt:

B 25 = 0,0045 T
B 50 = 0,0055 T
V 1.0/50 = 0,11 W/kg
V 1,0/400 = 1,48 W/kg.

Die festgestellten Wiederholgenauigkeiten können als sehr gut eingeschätzt werden.
Es wurde festgestellt, daß die Wiederholgenauigkeit mit steigender Frequenz abnimmt. Der Fehler bleibt jedoch unter 3 %.

3.3. Dienstleistungsfunktionen des Bedien- und Auswerteprogramms

Durch den vorhandenen Leitrechner konnte auf einfache Weise eine Reihe von Dienstleistungsfunktionen realisiert werden, die die Bedienung des Meßgeräts erleichtern und der Datenspeicherung dienen.

• Speicherung der Meßwerte

Die Speicherung der in einem Meßzyklus ermittelten Meßwerte und Daten der Probe, wie Probenbezeichnung und Abmessungen, werden im Anschluß an eine Messung auf Diskette in einer Datei gespeichert. Damit ist ein effektives Speicherverfahren vorhanden.
Die Meßprotokollherstellung geschieht durch Einlesen dieser Dateien in ein Programm, wobei alle zu einem Meßauftrag gehörenden Dateien in das Protokoll aufgenommen werden.
Gleichzeitig erfolgt hier eine Mittelwertbildung. Dieser Teil des Programms ist dann anzuwenden, wenn aus Längs- und Querproben Gemischtwerte ermittelt werden sollen.

• Speicherung und Darstellung der Ummagnetisierungskurven

Im Auswerteprogramm werden die Ummagnetisierungskurven als 256 Wertepaare B und H neu verarbeitet. Wie zur Datenspeicherung wurde ein Programmteil zur Speicherung dieser Wertepaare in einer Datei in das Auswerteprogramm eingearbeitet. Damit ist es möglich, mit Hilfe eines Druckergrafikprogramms [3] die Kennlinien auf dem Drucker darzustellen.
Die im Bild 7 gezeigten Ummagnetisierungskurven wurden auf diese Art gezeichnet. Da eine größere Anzahl der Kurven gleichzeitig darstellbar ist, können Vergleiche verschiedener Werkstoffe vorgenommen werden.

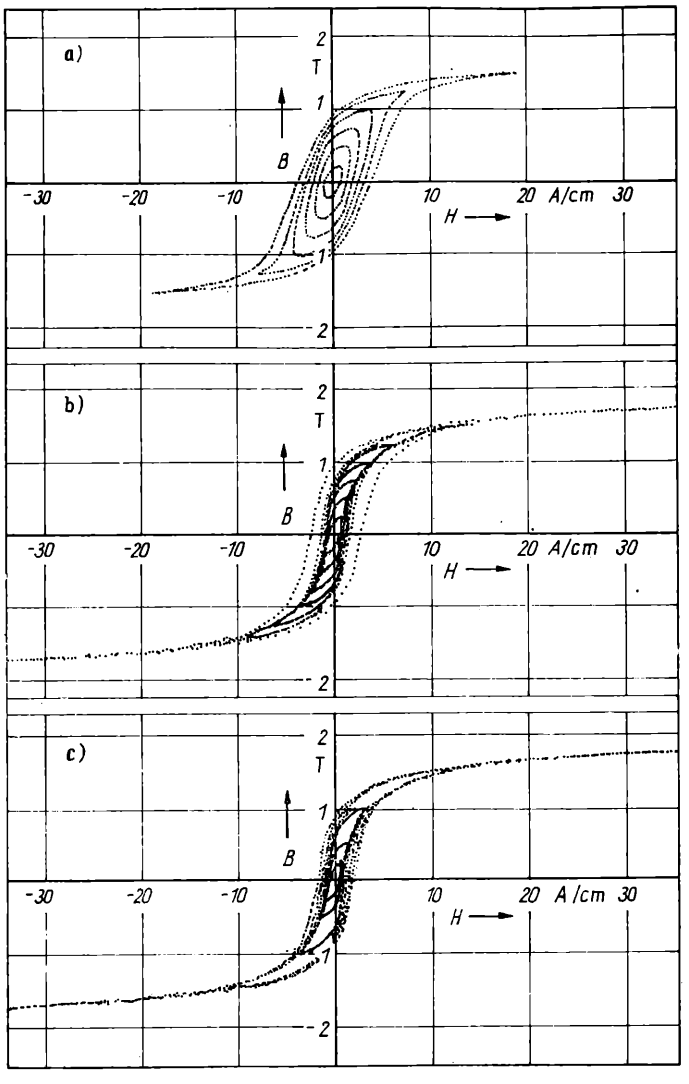


Bild 7. Beispiele für verschiedene Meßergebnisse an Werkstoffproben BSK 55 verschiedener Chargen

Anmerkung: Das Raster wurde zur besseren Lesbarkeit nachträglich in den Rechnerausdruck eingezeichnet.

Tafel 1. Protokollausdruck (siehe Bilder 7a, 7b, 7c)

Probe: Test 2 Datum: 17. 03. 1988
Breite 9,86 mm; Dicke 0,505 mm; Dichte 7,80 kg/cdm

Frequenz Hz	Bmax T	Hmax A/cm	Verluste W/kg	
400	0,2499	1,03	3,37	siehe Bild 7a)
400	0,5009	1,83	12,12	
400	0,7530	2,80	26,59	
400	1,0015	4,10	45,42	
400	1,2546	7,69	68,21	
400	1,5036	18,87	100,78	
50	0,2528	0,71	0,22	siehe Bild 7b)
50	0,5033	1,23	0,68	
50	0,7516	2,07	1,35	
50	1,0043	3,64	2,26	
50	1,2537	6,53	3,40	
50	1,5028	13,28	4,65	
50	1,7502	38,55	6,28	
50	0,2540	0,69	0,22	siehe Bild 7c)
50	0,5017	1,17	0,67	
50	1,0023	3,37	2,19	
50	1,5042	12,37	4,65	
50	1,7531	34,97	6,25	
50	1,9007	72,21	7,87	

4. Zusammenfassung

Die Bestimmung der Kenngrößen von Elektroblechen nach bekannten Verfahren erfordert neben einer nicht zu vernachlässigenden Menge an Probenmaterial einen hohen meßtechnischen Aufwand. Zur Durchführung einer Messung werden mehrere Stunden benötigt. Mit dem mikrorechnergesteuerten Magnetmeßplatz

Störbeeinflussung von GaAs-Sensoren zur Temperaturmessung

H.-J. Melhardt; Dresden

Die wachsenden Anforderungen an die Energieversorgungssysteme enthalten nicht nur zunehmende Übertragungsleistungen, sondern in immer stärkerem Maße steigende Zuverlässigkeit. Diese Anforderung ergibt sich aus den beträchtlichen Folgeschäden, die durch den Ausfall elektrischer Betriebsmittel verursacht werden können.

Die Gewährleistung der notwendigen Zuverlässigkeit durch Bereitstellung von Einsatzreserven an elektrischen Betriebsmitteln ist jedoch ökonomisch sehr aufwendig, insbesondere dann, wenn es sich um Großgeräte, wie Netz- und Maschinentransformatoren sowie Generatoren größerer Leistungen, handelt. Darum wurde in den letzten Jahren versucht, durch moderne Diagnoseverfahren den Alterungszustand von elektrischen Betriebsmitteln festzustellen, um Aussagen über die Ausfallwahrscheinlichkeit zu treffen und die Anzahl unvorhergesehener Ausfälle zu senken, aber auch, um von konstanten Wartungszyklen zu alterungszustandsabhängigen Wartungszyklen überzugehen und so die Auslastung der Betriebsmittel zu erhöhen.

Ein Diagnosekriterium von Transformatoren, das auch als Fehlerkriterium im Netzschutz verwendet werden kann, ist das Temperaturfeld im Transformator bzw. die Temperatur an bestimmten Stellen des Betriebsmittels. Die Temperaturmessung mit konventionellen Methoden ist jedoch für Messungen und Überwachungsaufgaben in Transformatoren und anderen elektrischen Betriebsmitteln aufgrund der extremen Umgebungsbedingungen, denen die Sensorik und die Meßwertübertragungsstrecke ausgesetzt sind, nicht oder nur sehr beschränkt möglich.

Der Informationsträger Licht bietet sich für eine Temperaturmessung unter diesen Bedingungen an, da die Lichtintensität durch elektromagnetische Störfelder weitgehend unbeeinflußbar ist. Es besteht allerdings die Aufgabe, einen geeigneten Sensor zu entwickeln, der die Lichtintensität in Abhängigkeit von der Temperatur beeinflußt und gleichzeitig gegen die auftretenden Störgrößen unempfindlich ist.

Es sind mehrere Sensorprinzipien bekannt, die mit unterschiedlichem Aufwand nutzbar sind. Zu den sogenannten internen Sensoreffekten gehört die temperaturabhängige Modenauskopplung aus dem Lichtwellenleiter durch einen Mantel mit temperaturabhängiger Brechzahl.

Verbindungen aus seltenen Erden haben die Eigenschaft, Licht einer temperaturabhängigen Wellenlänge auszustrahlen oder können durch ultraviolette Strahlung dazu angeregt werden. Die Temperaturabhängigkeit der Absorptionskante von Halbleitern bzw. Rotglas kann ebenfalls zur faseroptischen Temperaturmessung genutzt werden.

Die Ausnutzung dieser Eigenschaft von GaAs-Halbleitern zur faseroptischen Temperaturmessung in Transformatoren und unter anderen extremen Umgebungsbedingungen soll erläutert werden.

Dipl.-Ing. *Hans-Jürgen Melhardt* ist wissenschaftlicher Assistent an der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik, Bereich Elektrische Maschinen.

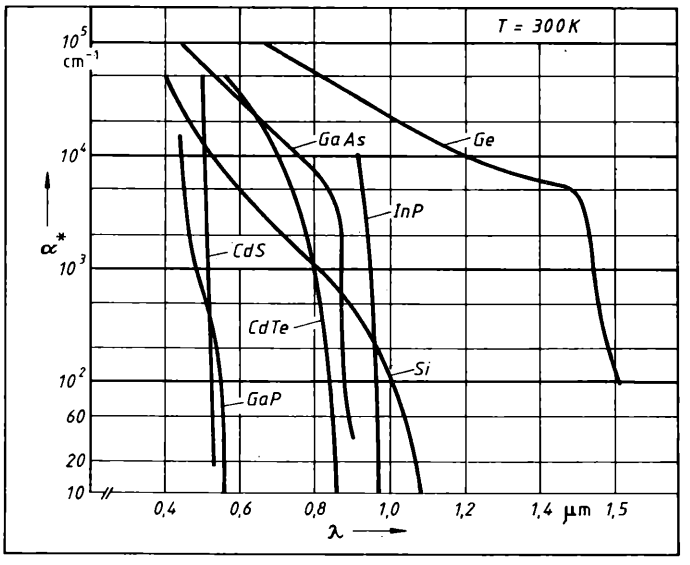


Bild 1. Absorptionskoeffizienten einiger Halbleiter in Abhängigkeit von der Wellenlänge bei $T = 300$ K nach [4], S. 33

1. Theoretische Grundlagen

Das Prinzip dieser Temperaturmessung beruht auf der temperaturabhängigen Verschiebung der Grundgitterabsorptionskette von Halbleitern.

Das diskrete Energiequantum für den Übergang von Elektronen aus dem Valenzband in das Leitungsband hängt bei direktem Bandübergang vom Bandabstand ab, der durch die Temperatur des Halbleiters beeinflußt wird.

Wird als Energie für den Übergang Licht verwendet, so kann der bestrahlte Halbleiter hauptsächlich nur Licht absorbieren, dessen Wellenlänge nach der Gleichung

$$E = \frac{h\,c}{\lambda}, \tag{1}$$

E Energie des Photons, h Plancksches Wirkungsquantum, λ Wellenlänge des Lichts, c Lichtgeschwindigkeit,

mindestens der benötigten Energie für den Übergang entspricht. Größere Wellenlängen werden beim direkten Bandübergang wegen ihrer zu geringen Energie nicht absorbiert. Im Bereich der Bandlückenenergie hat der Verlauf des wellenlängenabhängigen Absorptionskoeffizienten darum einen sehr starken Anstieg, die sogenannte Absorptionskante. Ihre Lage und ihre Steilheit ist hauptsächlich vom Halbleitermaterial, von seiner Reinheit und seiner Temperatur abhängig. Im Bild 1 ist der Verlauf des Absorptionskoeffizienten über der Wellenlänge im Bereich der Absorptionskante für verschiedene Halbleitermaterialien bei Raumtemperatur angegeben.

Durch eine relativ einfache Intensitätsmessung des transmittierten Lichts können also Aussagen über die Lage der Absorptionskante und damit über die Temperatur des Halbleiters getroffen werden, wenn das spektrale Maximum der Lichtquelle für die zu messenden Temperaturen im Bereich der Grundgitterabsorptionskante des Halbleitersensors liegt.

Die auf die eingestrahlte Lichtintensität bezogene transmittierte Intensität ist dabei:

$$I(x) = I(0) \exp(-\alpha^* x) \tag{2}$$

mit

$$\alpha^* = f(T). \tag{3}$$

$I(0)$ eingestrahlte Lichtintensität, $I(x)$ transmittierte Lichtintensität, x Dicke des Halbleiters, α^* Absorptionskoeffizient, T Temperatur.

„MAGMES" steht ein Gerät zur Verfügung, das in kürzester Zeit die Werkstoffkenngrößen von Dynamoband und anderen Ferromagnetika ermittelt und bestimmte Kennwerte (z.B. die Verlustziffer) berechnet.

Literatur

[1] TGL STRGW 2858-81
[2] TGL 43988 Prüfung von Elektrostahlband und -Blech bis 1,00 mm Dicke. (Verbindlich ab 01. 01. 1989)
[3] TGL 43988/10 Bestimmung der magnetischen Eigenschaften von Proben kleiner Abmessungen im Joch. (Entwurf)
[4] *Murawski, E.-M.; Steinbach, H.:* Konzipierung und Bau einer Meßeinrichtung zur Erfassung der magnetischen Kennwerte von Dynamoband. Studie. VEB Ingenieurbüro Elektrogeräte Karl-Marx-Stadt 1986
[5] Programmbeschreibung GRAPH. VEB Büromaschinenwerk „Ernst Thälmann" Sömmerda 1986
[6] *Hauptmann, M.:* 1 kVA-Leistungsverstärker für Meß- und Prüfzwecke. 11. Wissenschaftliche Konferenz der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden, Themengruppe M, Tagungsband 94

EA 5929

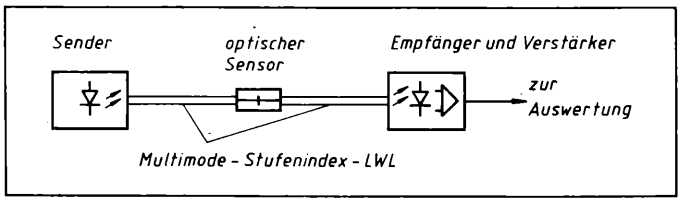


Bild 2. Blockschaltbild des faseroptischen Temperaturmeßplatzes

2. Realisierung der Meßanordnung

Mit einer Meßanordnung, deren Blockschaltbild im Bild 2 gezeigt ist, wurden erste Temperaturkennlinien aufgenommen und die Störeinflüsse elektrischer und magnetischer Felder untersucht. Als Sender und Empfänger wurden IRED bzw. PIN-Photodioden der Wellenlänge 820 nm verwendet. Die Sendediode arbeitet temperaturstabilisiert mit einer Konstantstromquelle. Die Photodiode des Empfängers arbeitet im Elementbetrieb. Zur Übertragung des Meßsignals dienen Multimode-Stufenindex-LWL mit einem Kerndurchmesser von 200 µm. In die Übertragungsstrecke wurde der GaAs-Halbleiter als Durchgangssensor durch Verkleben mit Expoxidharz eingefügt. Die Koppelstelle wurde anschließend mechanisch stabilisiert.

Im Bild 3 ist die mit der beschriebenen Meßanordnung aufgenommene und auf $T = 303$ K bezogene Temperaturkennlinie dargestellt. Es zeigt sich, daß die Empfindlichkeit der Anordnung in höheren Temperaturbereichen abnimmt, wie es auch aus der Lage des Emmissionsspektrums der verwendeten IRED zur Absorptionskante des GaAs-Halbleiters zu erwarten war.

Eine Variation der Empfindlichkeit und des Meßbereichs ist durch geeignete Auswahl der Lichtquelle hinsichtlich der Wellenlänge, des spektralen Maximums und der Breite des Spektrums sowie durch Einsatz anderer geeigneter Sensormaterialien möglich.

Bild 3
Temperaturgang des GaAs-Sensors

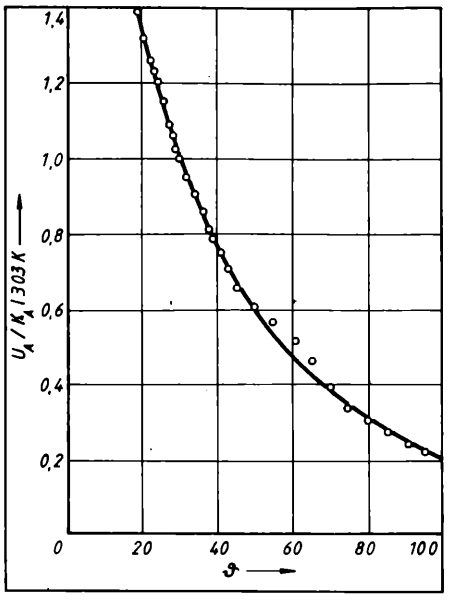
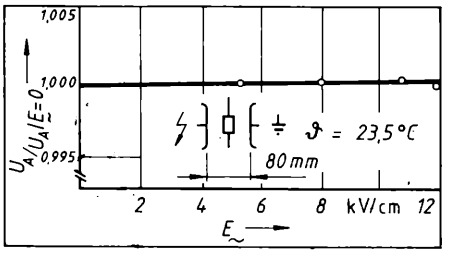


Bild 4
Verhalten des Sensors im elektrischen Wechselfeld bei senkrechter Lage von Licht- und Feldvektor



3. Elektromagnetische Verträglichkeit der Sensorik

Für den Einsatz in elektrischen Betriebsmitteln ist vor allem die elektromagnetische Verträglichkeit des Sensors und der Übertragungsstrecke maßgebend. Insbesondere für die Untersuchungen des Störverhaltens in elektrischen Feldern waren Voruntersuchungen notwendig, um die elektrische Festigkeit von Anordnungen mit Lichtwellenleitern und mit dem Sensor in Transformatorenöl festzustellen.

3.1. Elektrische Festigkeit der Meßanordnung

Zur Ermittlung der elektrischen Festigkeit von Lichtwellenleitern wurden Kabelstücke des Typs LWL-KV 1 × 1 S bzw. Stufenindex-Lichtwellenleiteradern des VEB Kabelwerk Oberspree als Längsgrenzfläche in ein homogenes elektrisches Feld in Transformatorenöl mit einem Elektrodenabstand von 20 mm gebracht. Im Spannungssteigerungsversuch wurden die Durchschlagfeldstärken ermittelt, die für LWL-Adern bei etwa 80 % und für vollständige LWL-Kabel bei 50 % der mittleren Durchschlagfeldstärke der Anordnung ohne Lichtwellenleiter lagen.

Es zeigte sich, daß die LWL-Adern zwar prinzipiell besser für die Verwendung in elektrischen Feldern geeignet sind, ein Einsatz in Öltransformatoren jedoch nicht von vornherein befürwortet werden kann, da unter anderem die Langzeitverträglichkeit gegenüber Transformatorenöl nicht hinreichend bekannt ist.

Die elektrische Festigkeit der Koppelstelle des Sensors mit den Lichtwellenleitern erwies sich in der Modellanordnung für die aufgrund ihrer geometrischen Abmessungen erreichbaren Feldstärken von etwa 15 kV/cm als ausreichend.

3.2. Störverhalten des Sensors gegenüber elektrischen Feldern

Zur Ermittlung des Störeinflusses elektrischer Felder auf den GaAs-Sensor wurde die Koppelstelle in ein homogenes 50-Hz-Wechselfeld in Transformatorenöl gebracht. Ihre geometrische Lage und damit die Lage des Feldvektors zum Lichtvektor wurde variiert. Bei jeweils konstanten Temperaturen von 291 bis 353 K wurde das Absorptionsverhalten des Halbleiters durch Messung der transmittierten Lichtintensität bei Variation der Feldstärke bestimmt. Es ergaben sich die in den Bildern 4 und 5a) dargestellten Kennlinien, die zeigen, daß eine Beeinflussung des Absorptionsverhaltens von GaAs-Halbleitern durch Wechselfeldstärken bis mindestens 15 kV/cm nicht nachzuweisen ist. Die Streuung der Meßwerte liegt dabei im Bereich der Fehler des verwendeten Meßmoduls.

Anders verhält es sich mit der Verbindung des Halbleiters mit den

Bild 5. Verhalten des Sensors im elektrischen Wechselfeld bei paralleler Lage von Licht- und Feldvektor
a) mit ausgehärteten Klebstellen; b) mit nicht ausgehärteten Klebstellen

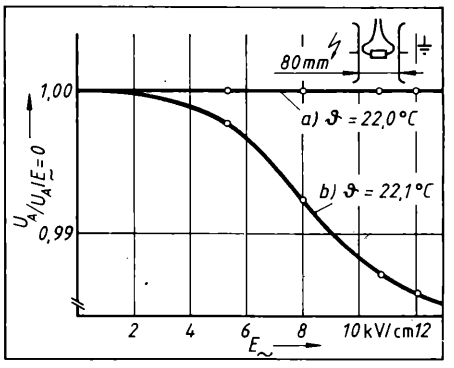


Bild 6. Verhalten des Sensors im magnetischen Gleichfeld bei senkrechter Lage von Licht- und Feldvektor

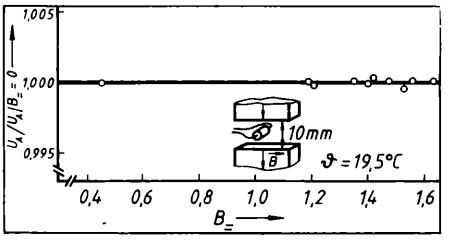
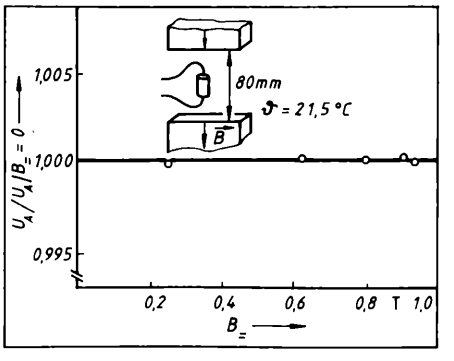


Bild 7. Verhalten des Sensors im magnetischen Gleichfeld bei paralleler Lage von Licht- und Feldvektor



Lichtwellenleitern, die durch Epoxidharzklebstellen erfolgte. Hier konnte ein Einfluß der elektrischen Feldstärke auf das Signal nachgewiesen werden, der im Bild 5b) für parallele Lage des Feldvektors zum Lichtvektor dargestellt ist. Der Fehlerbetrag ist einerseits von Betrag und Richtung des Feldvektors relativ zum Lichtvektor und andererseits vom Aushärtungsgrad des Epoxidharzes abhängig. Die Zeitkonstante einer Meßsignaländerung hängt ebenfalls vom Aushärtungsgrad ab und steigt mit zunehmender Aushärtung. Der Störeinfluß auf die Lichtintensität ist bei paralleler Lage von Licht- und Feldvektor am größten und bei senkrechter Lage der Vektoren zueinander nicht mehr nachweisbar. Nach vollständiger Aushärtung des Epoxidharzes traten die genannten Störbeeinflussungen nicht mehr auf.
Da der Aushärtungsvorgang weitgehend vom Mischungsverhältnis der einzelnen Harzkomponenten bestimmt wird, ist bei der Herstellung von Klebverbindungen für solche oder ähnliche Sensoren auf die optimale Gestaltung des Aushärtungsprozesses Wert zu legen. Für die weiterreichende Verwendung der Temperatursensoren werden alternative Verbindungstechnologien erforderlich sein.

3.3. Störbeeinflussungen durch magnetische Felder

Die durchgeführten Störuntersuchungen beschränkten sich auf den Einfluß magnetischer Gleichfelder in Luft auf die Absorptionseigenschaften des Sensors und der Lichtwellenleiter. In einem homogenen Magnetfeld wurden bei jeweils konstanten Temperaturen der Betrag der magnetischen Induktion und die Lage des Sensors relativ zum Feldvektor variiert, analog zur Vorgehensweise bei den Untersuchungen im elektrischen Feld. Die Ergebnisse sind in den Bildern 6 und 7 für parallele und senkrechte Lage des Licht- und des Feldvektors zueinander gezeigt.
Es konnte kein Einfluß von magnetischen Gleichfeldern auf das Absorptionsverhalten des Sensors nachgewiesen werden, wobei die Messungen bei magnetischen Flußdichten bis 1 T bzw. bis 1,6 T je nach der geometrischen Anordnung des Sensors im Feld durchgeführt wurden.

4. Zusammenfassung

Die Untersuchungen zur faseroptischen Temperaturmessung mit Halbleitersensoren haben ergeben, daß eine auf dem Prinzip der temperaturabhängigen Grundgitter-Absorptionskantenverschiebung basierende Temperaturmessung mit relativ geringem Auswertungsaufwand möglich ist. Die Empfindlichkeit und der Meßbereich hängen weitgehend von der Wahl geeigneter Sensormaterialien und Lichtquellen ab.
Die Meßgenauigkeit wird unter anderem auch von den temperaturabhängigen Eigenschaften der Lichtwellenleiter bestimmt. Durch den Einsatz eines Referenzkanals und entsprechend höheren Auswertungsaufwand läßt sich jedoch eine zumindest für den Einsatz in elektrischen Betriebsmitteln ausreichende Genauigkeit erreichen.
Die Untersuchungen zur elektromagnetischen Störbeeinflussung von GaAs-Halbleitern ergaben in den angegebenen Bereichen keine Störbeeinflussung des Absorptionsverhaltens. Es ist jedoch zu bemerken, daß das Verhalten des Sensors insbesondere in magnetischen Wechselfeldern und bei Schalt- bzw. Blitzüberspannungen noch zu untersuchen ist.
Probleme bei der Realisierung einer Temperaturmeßanordnung ergaben sich vor allem durch für diesen Einsatz unausgereifte Verbindungstechnologien von Lichtwellenleitern miteinander, mit dem Sensor und mit den optoelektronischen Bauelementen. Diese Verbindungen sind mechanisch instabil und erfüllen die nötigen Anforderungen an die Reproduzierbarkeit des analogen Meßsignals nicht.

Literatur

[1] *Winsel, G.; Weyrich, C.:* Optoelektronik I. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1981
[2] *Geist, D.:* Halbleiterphysik I; Eigenschaften homogener Halbleiter. Braunschweig: Friedrich Vieweg und Sohn 1969
[3] ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) S. 121–160
[4] *Möschwitzer, A.:* Formeln der Elektrotechnik Elektronik, Berlin: VEB Verlag Technik 1986
[5] *Glaser, W.:* Lichtwellenleiter – Eine Einführung. Berlin: VEB Verlag Technik 1986
[6] *Engelage, D.:* Lichtwellenleiter in Energie- und Automatisierungsanlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1986

EA 5855

Transformatormodelle für Überspannungsberechnungen bei elektromagnetischen Ausgleichsvorgängen auf Leitungen und in Schaltanlagen

F. Reincke, KDT, Berlin

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen

$\boldsymbol{A}$	Systemmatrix (Transformatormodell)
$\boldsymbol{B}$	Eingangs- oder Steuermatrix (Transformatormodell)
C_T	Impulskapazität eines Transformators
F	Freileitung
h	Berechnungsschrittweite, Integrationsschrittweite
$\hat{i}_B$	Blitzstromstärke (Scheitelwert)
i_{ers}	Ersatzstromquelle für einen Knotenpunkt
i_G	Klemmenstrom eines aktiven Zweipols
i_k	Strom durch den Knotenpunktquerwiderstand
K	Kabelleitung
R_i	Innenwiderstand eines aktiven Zweipols
S	Sammelschienenabschnitt
S_n	Nennleistung
t	Zeit
u_{ers}	Ersatzspannungsquelle für einen Knotenpunkt
u_G	Klemmen- bzw. Leerlaufspannung eines aktiven Zweipols
u_k	Spannung am Knotenpunkt k
v	Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wanderwellen
x	Eingangs- oder Störvektor
Z_T	Transformator-Ersatzwiderstand
Z_w	wirksamer Wellenwiderstand
z	Zustandsvektor (Transformatormodell)
$\dot{z}$	Vektor der zeitlichen Ableitungen der Zustandsgrößen dz/dt (Transformatormodell)
ω_i	Kreisfrequenz einer beliebigen Schwingung
ω_0	Kreisfrequenz der Grundschwingung

1. Einleitung und Problemstellung

Der Ermittlung und Analyse von Netzvorgängen in Elektroenergiesystemen wird in den letzten Jahren verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet, weil die hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit, Stabilität und Qualität der Elektroenergieversorgung gesicherte Kenntnisse über die Beträge und zeitlichen Verläufe elektrischer, magnetischer und mechanischer Größen von Störungen, Regel- und Schaltvorgängen erfordern. Je genauer eine Vorausberechnung der möglichen und zu erwartenden Netzvorgänge vorgenommen wird, um so besser und wirtschaftlicher kann die Dimensionierung der Anlagen und Betriebsmittel erfolgen und deren Zuverlässigkeit und Lebensdauer erhöht werden.
Ein derzeit sowohl national als auch international aktuelles Teilproblem aus dem Bereich der netzbedingten Spannungsbeanspruchungen besteht in der Untersuchung des Schwingungsverhaltens von Transformatorwicklungen bei Beaufschlagung mit impulsförmigen und schwingenden Spannungen [1] bis [9].
Transformatoren und die angeschlossenen Betriebsmittel der elektrischen Energieversorgung sind während ihres Einsatzes vielfältigen Spannungsbeanspruchungen ausgesetzt, die entweder durch atmosphärische Entladungen (Blitzeinwirkungen) oder durch Vorgänge im Netz selbst (Schalthandlungen, Kurzschlüsse u. ä.) hervorgerufen werden können. Neben der absoluten Spannungshöhe und -steilheit, die für die Isolationsfestigkeit der Anlagenteile Bedeutung haben, ist bei schwingenden Ausgleichsvorgängen auch die Frequenz und Dämpfung des Schwingungsverlaufs für schwin-

Dr.-Ing. *Frank Reincke* ist Ingenieur für Anlagentechnik in der Abteilung Forschung und Entwicklung des VE Kombinates Verbundnetze Energie.
Das Thema wurde im Rahmen eines Forschungsstudiums an der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik, bearbeitet.
Der Autor erhielt wertvolle Hinweise von Herrn Prof. em. Dr.-Ing. *H. Koettnitz* †.

gungsfähige Systeme von Betriebsmitteln, z.B. Wicklungen von Transformatoren oder Motoren, wesentlich.
Obwohl durch Überspannungen verursachte Ausfälle bei Großtransformatoren relativ selten auftreten, werden derzeit in bestimmten Netzkonstellationen bei Schalthandlungen, Erdfehlern und Nahblitzeinschlägen oszillierende Spannungswellen beobachtet, die die gesamte Wicklung bzw. bestimmte Wicklungsteile des Transformators zu resonanzfrequenten Schwingungen anregen können. Die dadurch entstehenden Spannungsamplituden können dann um ein mehrfaches größer sein als diejenigen, die an solchen Orten bei den traditionellen Blitz-, Schalt- und Wechselspannungsprüfungen auftreten.
Das bedeutet, daß z.B. bei der Einschaltung eines Transformators an seinen Klemmen eine Spannung entstehen kann, die zwar unterhalb der Ansprechwerte der angeschlossenen Überspannungsableiter liegt, jedoch aufgrund des Resonanzverhaltens durchaus zu einem internen Überschlag führen kann. Besonders gefährdet sind in diesem Zusammenhang Block- und Industrietransformatoren, wenn sie in Netzen der öffentlichen Energieversorgung oder der Industrie von Schaltanlagen aus geschaltet werden, die etwa 0,2 bis 3 km entfernt sind. Es entstehen dabei Ladeschwingungen mit der Eigenfrequenz des Netzes. Die darin enthaltenen höheren Harmonischen eines derartigen Ausgleichsvorgangs sind stärker gedämpft als die Grundschwingung und haben zudem kleinere Anfangsamplituden, so daß sie für die Resonanzanregung der Transformatoren außer acht bleiben können. Die auftretenden Grundfrequenzen liegen aber je nach Netzkonfiguration im Bereich zwischen etwa 20 und einigen 100 kHz und können mit Wicklungseigenfrequenzen in diesem Bereich übereinstimmen. In einem solchen Fall liegt Resonanzanregung vor. Die Höhe der dabei auftretenden inneren Überspannungen hängt dann nur von der im Netz und Transformator vorhandenen Dämpfung sowie vom Schwingungsverhalten der Transformatorwicklung selbst ab.
Diese Vorgänge, denen vor allem im Zusammenhang mit der Einsparung von Primärgeräten in den Schaltanlagen und den sogenannten ausgelagerten Betriebsmitteln besondere Beachtung zu schenken ist, sind neuerlich Anlaß zur verstärkten Untersuchung der Gesetzmäßigkeiten der Netzvorgänge im Nano- und Mikrosekundenbereich, verbunden mit einer Weiterentwicklung der mathematischen und meßtechnischen Untersuchungsmittel und -methoden.

2. Lösungsmethodik und Begründung

Aus einer Vielzahl von Veröffentlichungen zur Berechnung des Schwingungsverhaltens von Transformatoren [1] bis [20] ist zusammenfassend zu schlußfolgern, daß mit der Entwicklung leistungsfähiger Digitalrechner die Hinwendung zu Transformator-Wicklungsmodellen mit konzentrierten Parametern immer deutlicher zu Tage tritt und sich heute international allgemein durchgesetzt hat. Diese Art und Weise der mathematischen Modellbildung wird modernen Ansprüchen, die hinsichtlich der Modellschärfe an die Ausgleichsvorgangsberechnung zu stellen sind, gerecht. Die Schwierigkeiten, die sich aus der notwendigen Berechnung der Ersatzparameter der Wicklungselemente ergeben, können z.B. durch die Arbeit von *Witt* [7] beherrscht werden.
Für den zu untersuchenden Frequenzbereich der schnellverlaufenden elektromagnetischen Ausgleichsvorgänge (dominierende Gruppe von Eigenfrequenzen $\omega_i \gg \omega_0$ der Grundschwingung [21] [22]) sind Freileitungen, Kabelleitungen und auch ausgedehnte Sammelschienenanordnungen der Umspannwerke als homogene Leitungssysteme mit Hilfe verteilter Parameter zu modellieren, während Transformatoren als Elemente mit konzentrierten Parametern darzustellen sind. Diese Konzentriertheit ist bei Transformatoren bereits durch den relativ kompakten Aufbau von Natur aus gegeben, und eine derartige Modellbildung ermöglicht auch eine vorteilhaftere Anwendung auf komplizierte Wicklungen und Wicklungssysteme, weil die räumlichen Strangführungen und die auf die Randpunkte der Stränge beschränkten Randbedingungen sowie die bei abgestuften Isolierungen auftretenden Wicklungsinhomogenitäten nur die Matrizenelemente des Differentialgleichungssystems beeinflussen, das allgemeingültige Lösungsverfahren davon jedoch völlig unabhängig bleibt.
Darüber hinaus muß die Konzeption eines universell anwendbaren mathematischen Modells zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens von Transformatorwicklungen auch die exakte Berücksichtigung der Gegeninduktivitäten zwischen den einzelnen Windungen und Wicklungselementen vorsehen und die Einbeziehung von Nichtlinearitäten (stromabhängige Induktivitäten in Abhängigkeit von der Aussteuerung der Magnetisierungskennlinie des Kernmaterials) gewährleisten. Diese Prämissen werden ebenfalls von einem Transformatormodell mit konzentrierten Parametern am besten erfüllt.
Das Übertragungssystem (Netz) wird durch die bekannten linearen Leitungsgleichungen mathematisch beschrieben [23] bis [29], während für den Transformator ein Algebro-Differentialgleichungssystem Gültigkeit hat [21], das auch einige nichtlineare Gleichungen enthalten kann.
Demnach besteht das Hauptproblem bei der mathematischen Simulation transformatorinterner Ausgleichsvorgänge im Zusammenwirken mit dem Netz, also in der gemeinsamen Lösung von Leitungsgleichungen und Differentialgleichungen 1. Ordnung für die jeweiligen Anfangs- und Randbedingungen, d.h. in der Kopplung zweier sich prinzipiell unterscheidender Methoden zur Schaffung mathematischer Simulationsmodelle der Ausgleichsvorgangsberechnung.
Die Modellierung des Netzes (Übertragungsleitungen) mit verteilten Parametern und die Berechnung mit Hilfe des Wanderwellenverfahrens kann als gesichert und bekannt vorausgesetzt werden [23] bis [29].
Zur mathematischen Beschreibung des Ersatznetzwerkes von Transformatoren soll eine moderne Methode der Systemtheorie, die Zustandsdarstellung, die bereits bei der Modellierung des Elektroenergiesystems zur Berechnung elektromagnetomechanischer und elektromechanischer im Millisekundenbereich verlaufender Ausgleichsvorgänge [22] [30] erfolgreich angewendet wurde, eingesetzt werden.
Mit Hilfe der Zustandsdarstellung kann das Ersatznetzwerk eines Wicklungssystems konsequent und systematisch durch ein Differentialgleichungssystem abgebildet werden, das die minimale Anzahl von Gleichungen enthält, die zur Simulation des dynamischen Systemverhaltens unbedingt erforderlich ist. Die Zustandsdarstellung wird darüber hinaus auch deshalb als geeignete Methode zur Transformatormodellierung angesehen, weil sie Möglichkeiten zur gezielten und systematischen Modellreduzierung durch die Analyse der Eigenschaften des Differentialgleichungssystems eröffnet. Eine optimale Modellbildung, die sich ausschließlich auf die charakteristischen und dominierenden Eigenschaften des jeweiligen Ausgleichsvorganges beschränkt, ist damit möglich [21] [30].
Mit Hilfe von Eigenwertuntersuchungen sind die Eigenschaften des Differentialgleichungssystems bereits ohne vollständige Lösung erkennbar, so daß nach der Ermittlung der dominierenden Eigenfrequenzen des Transformator-Wicklungssystems abgeschätzt werden kann, ob es durch die Wanderwellenvorgänge auf den Übertragungsleitungen des Netzes zu einer Resonanzgefährdung des Wicklungssystems kommen kann oder nicht.
Die Systemtheorie schafft damit die Voraussetzungen zur Minimierung des Rechenaufwandes unter Beibehaltung eines permanenten Erkenntniszuwachses zum dynamischen Verhalten von Transformatorwicklungen bei Zustandsänderungen des Elektroenergiesystems.

3. Kopplung der Modelle von Transformator und Netz

Die im praktischen Netzbetrieb und insbesondere bei Schalt- und Fehlervorgängen auftretenden Spannungsbeanspruchungen innerhalb von Transformatorwicklungen sind Ausdruck der konkreten Wechselbeziehungen zwischen dem vorgelagerten Übertragungssystem und dem Transformator selbst. Deshalb kann eine Untersuchung oder Simulation der genannten Ausgleichsvorgänge auch nur dann reale und praktische verwertbare Ergebnisse liefern, wenn beide Elemente des Elektroenergiesystems in ihrem Zusammenwirken in einem mathematischen Modell nachgebildet werden können. Für die Berechnung elektromagnetischer Ausgleichsvorgänge heißt das u.a., daß eine Kopplung zweier sich prinzipiell unterscheidender Lösungsverfahren in einem Modell erfolgen muß, wenn den natürlichen Eigenschaften der Einzelelemente am besten entsprochen werden soll.
Die Berechnungsmethode mit Hilfe laufender Wellen (Wanderwellen) stellt ein Zeitschrittverfahren zur Lösung der Leitungsgleichungen dar und bewirkt dadurch, daß sich nur dann an einem beliebigen Netzknotenpunkt ein veränderter Spannungs- und Stromzustand einstellen kann, wenn dort gerade Spannungs- bzw. Stromwellen ankommen, d.h., Spannungs- und Stromzustände werden ausschließlich zu diskreten Zeiten verändert. In der Zeit zwischen dem Eintreffen zweier Wellen bleiben die Spannungs- und

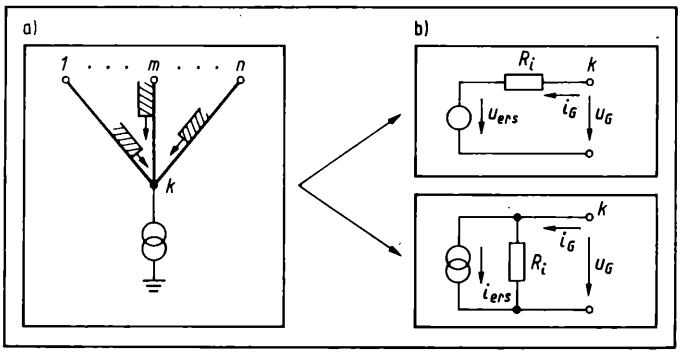


Bild 1. a) Netzmodell (einpolig); b) Zweipol-Ersatzschaltung (Leerlauf)

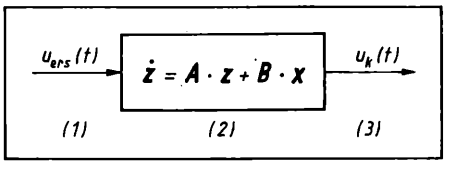


Bild 2
„Ersatzspannung" (1); Transformatormodell (2); Knotenpunktspannung (3)

Stromzustände jeweils unverändert (sie verharren auf den bisherigen Werten), so daß die Eigenart des Wellenlaufs eine Entkopplung zwischen Netz (Leitungen) und Transformator (Knotenpunktelement) mit sich bringt. Dadurch ist eine echte Schnittstelle zwischen beiden Elementen des Elektroenergiesystems vorhanden, die eine getrennte Berechnung der Leitungsgleichungen einerseits und der Differentialgleichungen des Transformators andererseits überhaupt erst ermöglicht und zuläßt.

Die Ausnutzung einer bestimmten Trägheit der Zustandsgrößen des Transformator-Wicklungssystems zwischen zwei Zeitpunkten des Wellenlaufs unterstützt diese Entkopplung noch, so daß der Grundgedanke des Berechnungsverfahrens zunächst in der Zerlegung der aus Übertragungssystem (Freileitungen, Kabelleitungen, Sammelschienen) und Transformator „zusammengesetzten" Netzwerke in zwei Teilnetzwerke [31] bestehen kann:

1. Übertragungssystem (linear),
2. Transformator-Wicklungssystem (linear oder ggf. auch nichtlinear).

Es ist bei der getrennten Berechnung beider Teilsysteme nach den bereits erläuterten mathematischen Verfahren lediglich zu gewährleisten, daß zu jedem Berechnungszeitschritt, d.h. also immer zu diskreten Zeiten im Abstand der Berechnungsschrittweite h, die Lösungen für Strom und Spannung mit den Gleichungen in Übereinstimmung stehen, die das gesamte Netzwerk bzw. beide Teilsysteme gemeinsam beschreiben (Erfüllung der Koppelbeziehungen nach dem Kirchhoffschen Maschen- und Knotenpunktsatz für die Klemme des Transformators).

Unter Berücksichtigung der allgemeinen Grundlagen der einpoligen digitalen Wanderwellenberechnung [21] [23] [24] [28] wird folgender Lösungsweg beschritten:

1. Berechnung der Ersatzspannung u_{ers} für das Übertragungssystem (Netz) [21] [24] ohne angeschlossenen Transformator (Theveninsche Ersatz- oder Leerlaufspannung [31] bis [33]).

Dabei wird das Netz für den Anschlußpunkt des Transformators auf eine aktive Zweipolersatzschaltung (Spannungs- oder Stromquellen-Zweipol [34] nach Bild 1 sind dabei völlig gleichberechtigt) zurückgeführt.

Die Ersatzspannung u_{ers} stellt die Eingangs- oder Störgröße für das Transformatormodell dar.

Dieser Berechnungsabschnitt wird mit Hilfe des Blockschemas (Bild 1) verdeutlicht.

2. Berechnung der Zustandsgrößen des Transformatormodells in Abhängigkeit von der Störgröße u_{ers}.

Mit diesem Berechnungsabschnitt erfolgt die Einbeziehung des Netzmodells in das Modell des Transformator-Wicklungssystems bzw. umgekehrt (Kopplung), d.h., es wird die „Antwort" des Transformators auf die Störgröße u_{ers} berechnet, die wiederum bis zum nächsten Zeitschritt und der damit verbundenen Aktualisierung der Störgröße unverändert erhalten bleibt (Trägheit der Zustandsgrößen).

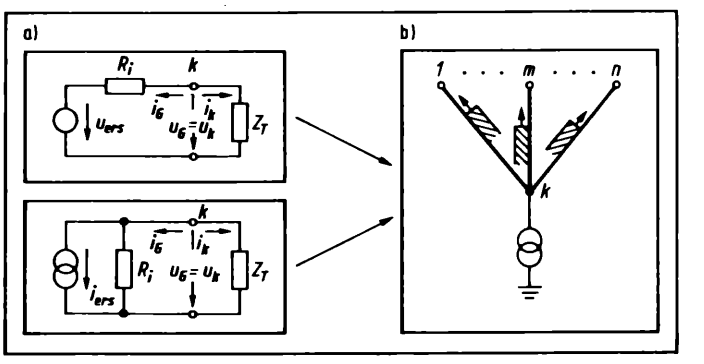


Bild 3. Zweipol-Ersatzschaltung (mit „Last")
a) Z_T Transformator-Ersatzimpedanz, b) Netzmodell (einpolig)

Als Koppelgröße zwischen Netz und Transformator tritt die Knotenpunktspannung am leitungsseitigen Anschlußpunkt des Transformators (Klemme) auf, die gleichzeitig Zustandsgröße im Differentialgleichungssystem ist. Diese Knotenpunktspannung ist damit neben den Spannungen an inneren Transformatorknotenpunkten, die Auskunft über die Spannungsbeanspruchungen im Wicklungsinnern bei Wanderwellenvorgängen im Netz geben, gleichzeitig auch Ausgangsgröße des mathematischen Transformatormodells, die an den Wanderwellenalgorithmus der Leitungsberechnung „übergeben" wird.

Für diesen Berechnungsabschnitt gilt das Blockschema im Bild 2.

3. Berechnung der am Transformator-Anschlußpunkt reflektierten Spannungswellen als Differenz aus Knotenpunktspannung und einlaufenden Spannungswellen (Bild 3).

Im Gegensatz zum Übertragungssystem (Netz), das als aktiver Zweipol modelliert wird, stellt der in sein Wicklungssystem gegliederte „sektionierte" Transformator das passive Knotenpunktelement dar. In der Zusammenschaltung beider Elemente wird der aktive Zweipol Netz mit dem passiven Zweipol Transformator belastet. Einfache Beispielanordnungen sind dazu in [21] angegeben.

Das auf diesem Wege ermittelte Differentialgleichungssystem ist die Grundlage für die rechentechnische Realisierung der Ausgleichsvorgangsberechnung für Netz und Transformator anhand eines mathematischen Modells, in deren Mittelpunkt die numerische Integration steht.

Zur Lösung des Gleichungssystems wurde ein explizites Integrationsverfahren ausgewählt, weil zur Berechnung der Zustandsgrößen zur Zeit t im Unterschied zu impliziten Verfahren (vgl. [35]) dann nur die Zustandsgrößen zur Zeit $t - h$ (h Integrationsschrittweite) und die aktuelle Störgröße zur Zeit t benötigt werden. Diese Größen sind im Rahmen des bereits erläuterten Berechnungsganges leicht bereitzustellen.

Aufgrund seiner einfachen Handhabung, seiner vielfach bewährten praktischen Anwendung [22] [30] [36] [37] und der Tatsache, daß das Differentialgleichungssystem nicht „allzu steif" ist, wird für die Integration das Runge-Kutta-Verfahren 4. Ordnung genutzt [21].

4. Vergleich zwischen verschiedenen mathematischen Transformatormodellen für die Überspannungsberechnung

Bei Berechnung zur Ermittlung der Überspannungen infolge elektromagnetischer Ausgleichsvorgänge auf Leitungen und in Schaltanlagen wird bisher vor allem bei der mathematischen Simulation atmosphärischer Entladungen bzw. anderer Netzvorgänge im Wanderwellenbereich (z.B. Fehlereintrittsvorgänge) häufig davon ausgegangen, daß Transformatoren durch ihre Impulskapazitäten (auch Stoß- oder Eingangskapazitäten genannt) dargestellt werden können [11] [38] bis [42]. Dieses relativ einfache mathematische Transformatormodell ergibt sich aus der Tatsache, daß sich für sehr hohe Frequenzen (z.B. kurze Stirndauer bei Blitzspannungen) über dem Wicklungssystem eine kapazitive Anfangsspannungsverteilung [43] bis [45] einstellt, die meistens wesentlich von jener abweicht, die im weiteren Verlauf der Störung durch die Induktivitäten (Endspannungsverteilung [43] bis [45]) bestimmt wird. Infolgedessen wirkt der Transformator für die Ausgleichsvorgänge im Kurzzeitbereich (bis zu einigen wenigen Mikrosekunden) annähernd wie eine konzentrierte Kapazität, so daß er bisher in der Regel für Überspannungsberechnungen auch nur durch diese Kapazität mo-

delliert wurde. Seltener erfolgte seine Darstellung durch eine Parallelschaltung von Impulskapazität und Wellenwiderstand oder nur durch den Wellenwiderstand [24].

Die entsprechenden Werte für Impulskapazitäten und Wellenwiderstände werden dabei im allgemeinen vom Hersteller genannt, der sie meßtechnisch ermittelt.

Im Gegensatz zu diesen stark vereinfachten und nur für einen eng begrenzten Zeitbereich (Anfangsspannungsverteilung) gültigen herkömmlichen Transformatormodellen bietet die Darstellungsweise des vorn beschriebenen mathematischen Modells des Transformator-Wicklungssystems (vgl. Abschnitte 2. und 3. sowie [21]) die Möglichkeit, elektromagnetische Ausgleichsvorgänge allgemein, also ohne weitere Einschränkung des Zeitbereichs, zu berechnen. Neben den Kapazitäten zwischen den Windungen und gegen Punkte festen oder freien Potentials werden dabei auch die Induktivitäten (einschließlich gegenseitiger Kopplung) im Ersatzschaltbild berücksichtigt, so daß sich der simulierte Zeitbereich durchaus auf mehrere hundert Mikrosekunden (Voraussetzung: Vernachlässigung der magnetischen Eigenschaften des Kernmaterials) erstrecken kann. Damit werden die Gültigkeitsbereiche der vereinfachten Modelle mit Impulskapazitäten und/oder Wellenwiderständen zeitlich erweitert.

Ein Vergleich zwischen der Darstellung des Transformators durch verschiedene konzentrierte Impulskapazitäten C_T ($C_T = 0{,}45$ nF; 1,5 nF; 5,0 nF) einerseits und einem in 4 Wicklungselemente untergliederten sehr einfachen und übersichtlichen Transformator-Wicklungsmodell nach Bild 4 andererseits ermöglicht eine Wertung hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der vereinfachten Modelle. Die Kapazitätswerte resultieren aus Herstellerangaben für einen Transformator größerer Leistung (z.B. $S_n = 160$ MVA) und 220-kV-Nennspannung. In [24] wird für die Impulskapazität ein Bereich von $C_T \approx 1{,}0$ bis 5,0 nF angegeben, während das mathematische Modell mit $C_T \approx 0{,}45$ nF im wesentlichen nur die Leiter-Erde-Kapazität der Eingangsdurchführung der genannten Leistungstransformatoren berücksichtigt. Darüber hinaus sind auch Rückschlüsse dahingehend möglich, welche Werte der Impulskapazitäten bei vereinfachten Überspannungsberechnungen zu wählen sind, und wie infolgedessen bisherige Berechnungen hinsichtlich ihrer Genauigkeit eingeordnet werden müssen.

Die Berechnungsergebnisse sind für einen sprungförmigen und einen schwingenden Klemmenspannungsverlauf am Transformator in den Bildern 5 bis 7 gegenübergestellt und können als repräsentativ für die häufigsten Spannungsbeanspruchungen von Transformatoren (Hauptklemme) bei Netzvorgängen im Wanderwellenbereich angesehen werden.

Als Bezugsnormal dient dabei jeweils das 4-Elemente-Wicklungsmodell nach Bild 4, das auf fundierte und in [7] dokumentierte Arbeiten zur Parameterermittlung des in Wicklungselemente untergliederten Transformator-Wicklungssystems, die beim Hersteller selbst, dem VEB Transformatorenwerk „Karl Liebknecht" (TRO), Berlin, durchgeführt wurden, zurückgeht. Die besondere Eignung des Verfahrens zur Parameterermittlung ist in [7] durch den Vergleich mit Messungen an Modellspulen eindeutig unter Beweis gestellt worden und wird als gesichert vorausgesetzt.

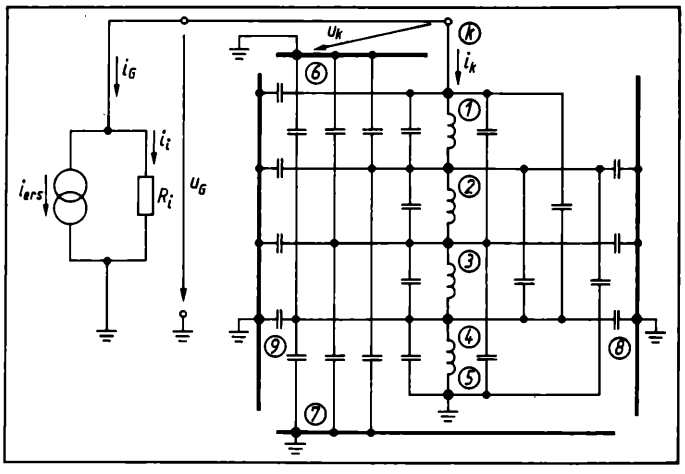


Bild 4. Ersatzschaltbild und Wicklungsparameter eines Beispieltransformators mit Netz (4-Elemente-Modell der Oberspannungswicklung eines Drehstromvolltransformators des VEB TRO Berlin für 160/160/42 MVA — 331/115,5/10,5 kV; verschachtelte Scheibenspulenwicklung mit Mitteneinspeisung)

Wicklungsparameter:

Induktivitäten (mH)

$L_{11} = 52{,}1784$	$L_{23} = 23{,}3059$
$L_{12} = 29{,}8694$	$L_{24} = 13{,}0378$
$L_{13} = 16{,}5628$	$L_{33} = 35{,}5878$
$L_{14} = 10{,}3081$	$L_{34} = 21{,}4171$
$L_{22} = 39{,}1766$	$L_{44} = 34{,}2398$

Kapazitäten (pF)

$C_{12} = 21{,}0624$	$C_{34} = 34{,}3728$
$C_{13} = 0{,}7742$	$C_{35} = 0{,}6842$
$C_{14} = 0{,}0631$	$C_{36} = 0{,}0214$
$C_{23} = 28{,}0538$	$C_{37} = 2{,}1152$
$C_{24} = 2{,}2535$	$C_{38} = 181{,}9000$
$C_{25} = 0{,}0455$	$C_{39} = 153{,}4260$
$C_{26} = 0{,}5724$	$C_{45} = 14{,}9989$
$C_{27} = 0{,}1405$	$C_{46} = 0{,}0017$
$C_{28} = 190{,}9840$	$C_{47} = 45{,}3681$
$C_{29} = 165{,}1070$	$C_{48} = 195{,}0070$
	$C_{49} = 173{,}1440$
Durchführung	$C_{19} = 450{,}0000$

Knotenpunkt 5 Starr geerdetes Wicklungsende
Knotenpunkte 6, 7, 8 Starr geerdete Abschirmungen und Schilde
Knotenpunkt 9 Bezugspunkt (Erdpotential)

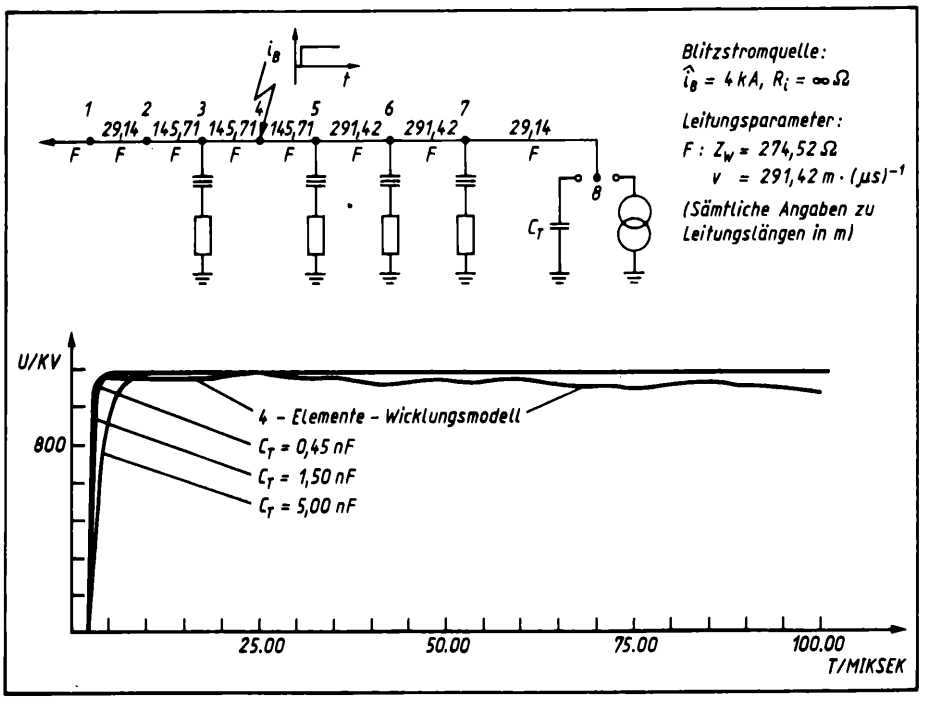


Bild 5. Vergleich von Transformatormodellen — Spannungs-Zeit-Verläufe am Knotenpunkt 8
U in kV, T in µs

Aus den Bildern 5 bis 7 können folgende Erkenntnisse abgeleitet werden:

1. Die maximalen Amplituden der Spannungsbeanspruchungen unterscheiden sich bei den einzelnen Modellen nur wenig. Die Abweichungen bewegen sich etwa in einem Bereich von — 5 bis + 5 % und sind damit aus praktischer Sicht zu vernachlässigen.

2. Die Anfangssteilheiten (du/dt) der Spannungs-Zeit-Verläufe an der Transformatorklemme, die u.a. für die Ausbildung eines möglichen Durchschlagprozesses der Isolierung kennzeichnend sind, weisen jedoch deutliche Unterschiede auf und bestätigen erneut die theoretische Erkenntnis, daß „große" Kapazitäten den Stirnanstieg der Spannung verflachen (vgl. dazu auch [46]). Besonders in den Bildern 6 und 7 ist erkennbar, daß die Berechnungen unter Verwendung der Impulskapazitäten der Transformatoren (1,0 bis 5,0 nF) zu geringe du/dt-Werte liefern und dadurch bei schwingenden Spannungs-Zeit-Verläufen auch die Frequenz deutlich verfälschen.

3. Das mathematische Transformatormodell mit $C_T = 0{,}45$ nF (Durchführungskapazität) zeigt im Vergleich mit dem 4-Elemente-Modell für den Beginn des Ausgleichsvorgangs (bis etwa 10 µs) annähernde Übereinstimmung in den Berechnungsergebnissen. Die Anfangssteilheiten und auch die Frequenz einer möglichen schwingenden Beanspruchung werden richtig wiedergegeben, so daß eine vereinfachte Modellbildung mit Hilfe einer konzentrierten Kapazität, die die Durchführung kennzeichnet, für den unmittelbaren Anfangszeitbereich eines Ausgleichsvorgangs durchaus geeignet erscheint. Die Durchführungskapazität hat im Unterschied zu den einzelnen Kapazitäten des Wicklungssystems erheblich höhere Werte und bestimmt deshalb wesentlich das Zeitverhalten des Transformators unmittelbar nach Eintritt einer Störung (Zustandsänderung).

Für größere Zeitbereiche (mehrere zehn bis zu einigen hundert Mikrosekunden) ist jedoch auch dieses Modell abzulehnen, weil dann schon die Induktivitäten deutlich das Zeitverhalten des Wicklungssystems mitbestimmen (vgl. Bild 5) und aufgrund dessen wesentliche Abweichungen hinsichtlich Amplitude und Frequenz zu erwarten sind.

4. Bisherige Überspannungsberechnungen mit Impulskapazitäten von Transformatoren wurden mit zu großen Kapazitätswerten durchgeführt und lieferten Abweichungen hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs des Ausgleichsvorgangs (Frequenz). Infolgedessen sind derartige Modelle vor allem für die Untersuchung von Reso-

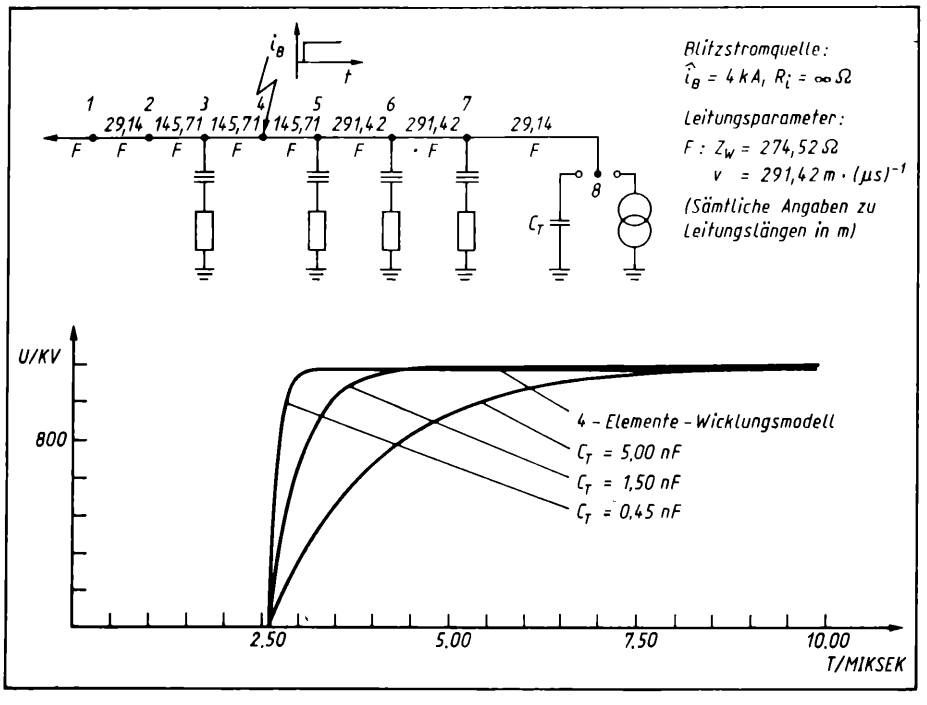


Bild 6. Vergleich von Transformatormodellen — Spannungs-Zeit-Verläufe am Knotenpunkt 8
U in kV, T in µs

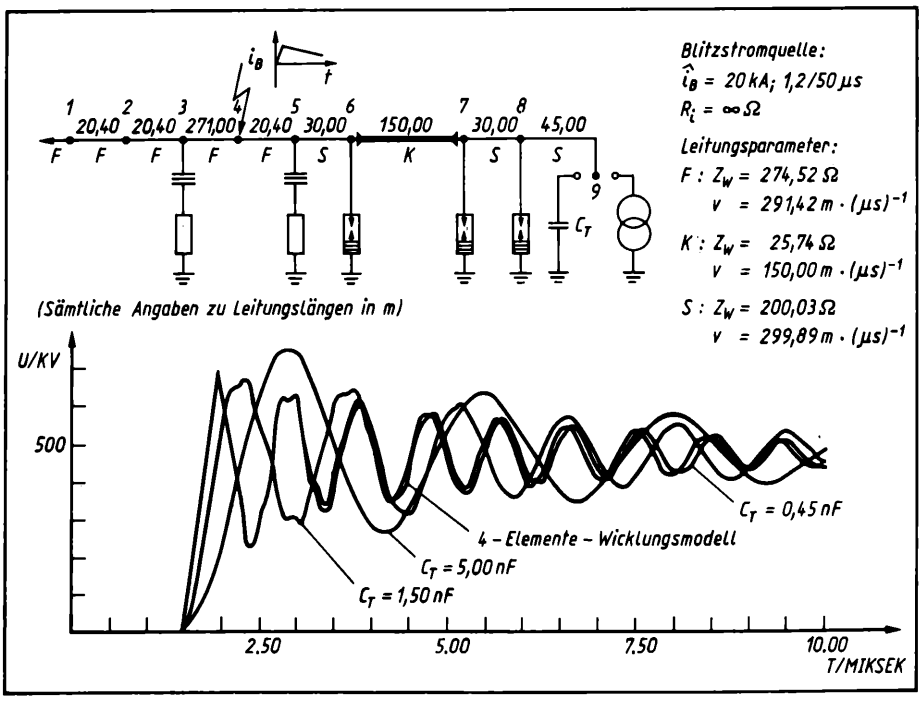


Bild 7. Vergleich von Transformatormodellen — Spannungs-Zeit-Verläufe am Knotenpunkt 9
U in kV, T in µs

sonanzanregungen von Transformatorwicklungen bei Wanderwellenvorgängen im Netz ungeeignet.
5. Die Nachbildung von Transformatoren durch konzentrierte Kapazitäten im Rahmen der Überspannungsberechnungen ist nur repräsentativ für die Klemmenbeanspruchung bzw. für die Beanspruchung der Durchführung. Eine konkrete Aussage zur Charakteristik und Intensität der Ausgleichsvorgänge im Wicklungsinnern kann nicht getroffen werden. Es ist lediglich möglich, bei vorhandener Kenntnis über die Eigenfrequenzen des Wicklungssystems aus der Frequenz eines schwingenden Klemmenspannungsverlaufs zu schlußfolgern, ob eine Resonanzgefährdung zu erwarten sein wird. Für eine derartige überschlägige Einschätzung kritischer Beanspruchungen ist das Kapazitätsmodell (Durchführung) des Transformators besonders wegen seiner Einfachheit gut geeignet.

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Aus dem nationalen und internationalen Störungsgeschehen und den praktischen Erfahrungen bei der Störungsanlayse in Elektroenergiesystemen ist bekannt, daß in bestimmten Netzkonstellationen bei Schalthandlungen, Erdfehlern und Nahblitzeinschlägen oszillierende Spannungswellen beobachtet wurden, die bestimmte Wicklungsteile des Transformators zu resonanzfrequenten Schwingungen anregen und einen Transformatorausfall nach sich ziehen können. Um die Gesetzmäßigkeiten derartiger Ausgleichsvorgänge näher zu untersuchen, ist eine vollständige Systembeschreibung zur qualitativen und quantitativen Beurteilung des dynamischen Verhaltens von Transformator und Netz (Leitungen, Übertragungssystem) erforderlich.
Es wird nachgewiesen, daß herkömmliche Transformatormodelle in der Überspannungsberechnung, die in der Regel nur die Impulskapazität berücksichtigen, lediglich hinsichtlich der maximalen Beanspruchung der Durchführung bzw. der Klemme annähernd richtige Ergebnisse liefern. Um jedoch den zeitlichen Verlauf in der Anfangsphase eines Ausgleichsvorgangs (einige wenige Mikrosekunden), für die das Kapazitätsersatzschaltbild ohnehin nur Gültigkeit hat, richtig zu erfassen, ist am besten ein solches Modell geeignet, das die Durchführungskapazität berücksichtigt. Dieser Umstand gewinnt besonders dann an Bedeutung, wenn anhand der Frequenz eines schwingenden Klemmenspannungsverlaufs beispielsweise Rückschlüsse auf die Resonanzgefährdung des gesamten Wicklungssystems gezogen werden sollen. Andererseits zeigen die Ergebnisse der Beispielrechnungen aber auch, daß innerhalb des Wicklungssystems durchaus höhere Spannungsbeanspruchungen auftreten können als an den Klemmen des Transformators. In einem solchen Fall ist das vereinfachte Modell einer konzentrierten Kapazität gänzlich ungeeignet, weil transformatorinterne Ausgleichsvorgänge damit natürlich nicht erfaßt werden können.
Es ist vorgesehen, auf der Grundlage dieser theoretisch ermittelten Zusammenhänge Untersuchungen zur Resonanzgefährdung von Großtransformatoren (insbesondere bei ausgelagerten Transformatoren) für den Anlagenbereich des VE Kombinates Verbundnetze Energie durchzuführen.
Über die entsprechenden Ergebnisse wird zu einem späteren Zeitpunkt berichtet werden.

Literatur

[1] *Fehér, G.; Kerényi, D.:* Die Berechnung der Stoßspannungsverteilung in Wicklungen und Wicklungsgruppen von Transformatoren mit Hilfe eines Digitalrechners. Acta Technica Scientiarum Hungaricae 65 (1969) 1–2, S. 163–177
[2] *Córnogotskij, W. M.:* Resonansnye povyschenija napraschenija na posledovatjelno sojidinjonnych častjach obmotok transformatorov. Elektrotechnika, Moskau 45 (1974) 7, S. 36–39
[3] *McNutt, W. J.; Blalock, T. J.; Hinton, R. A.:* Response of transformer windings to system transient voltages. IEEE Trans. PAS 93 (1974) 1, S. 457–467
[4] *Degeneff, R. C.:* A general method for determining resonance in transformer windings. IEEE Trans. PAS 96 (1977) 2, S. 423–430
[5] *Musil, R. J.; Preininger, G.; Schopper, E.; Wenger, S.:* Voltage stresses produced by aperiodic and oscillating system overvoltages in transformer windings. IEEE Trans. PAS 100 (1981) 1, S. 431–441
[6] *Adielson, T.; Carlson, A.; Margolis, H. B.; Halladay, J. A.:* Resonant overvoltages in EHV transformers. Modeling and application. IEEE Trans. PAS 100 (1981) 7, S. 3563–3572
[7] *Witt, H.:* Die Berechnung der Blitzspannungsverteilung in Wicklungen von Grenzleistungstransformatoren mittels digitaler Rechenmaschinen. Dissertation A, Technische Universität Dresden, 1981
[8] *Dietrich, W.:* Resonance behaviour of high-voltage transformers. Internal working paper WG 12-07. CIGRE 1983
[9] *Kerényi, D.; Spohn, F.:* Beanspruchung von Transformatoren durch oszillierende Schaltspannungen. Elektrotechnika, Budapest 76 (1983) 4, S. 125–136
[10] *Musil, R. J.; Preininger, G.; Schopper, E.; Wenger, S.:* The resonance effect of oscillating system overvoltages on transformer windings. IEEE Trans. PAS 101 (1982) 10, S. 3703–3711
[11] *Balzer, G.:* Berechnung des transienten Spannungsverlaufs an Transformatoren. Elektrizitätswirtschaft 83 (1984) 16, S. 720–725
[12] *Müller, W.; Buckow, E.:* Numerische Berechnung der Resonanzschwingungen von Transformatorwicklungen. Siemens Forsch.- u. Entwickl.-Ber. 13 (1984) 2, S. 74–83
[13] *Preininger, G.:* Die Berechnung der Stoßspannungsbeanspruchung von Transformatoren mittels Digitalrechner. ELIN – Zeitschrift 19 (1967) 3/4, S. 101 bis 112
[14] *Margolis, H. B.; Phelps, J. D. M.; Carlomagno, A. A.; McElroy, A. J.:* Experience with part winding resonance in EHV autotransformers. Diagnosis and corrective measures. IEEE Trans. PAS 94 (1975) 4, S. 1294–1300
[15] *McElroy, A. J.:* In the significance of recent EHV transformer failures involving winding resonance. IEEE Trans. PAS 94 (1975) 4, S. 1301–1316
[16] *Müller, W.:* Die Resonanzanregung von Industrietransformatoren durch Kabelschwingungen. ETZ-Archiv 1 (1979) 4, S. 107–112
[17] *Schopper, E.; Wenger, S.:* Beanspruchung von Transformatoren durch aperiodische und oszillierende Überspannungen. E. u. M 97 (1980) 12, S. 559–564
[18] *Stein, B.:* Ein Transformatormodell für Programme zur Berechnung elektromagnetischer Ausgleichvorgänge. Proc. 7. PSSC. Lausanne, 1981
[19] *Schlosser, K.:* Resonanzvorgänge in großen Transformatoren. Bull. SEV/VSE 74 (1983) 23, S. 1349–1355
[20] *Glaninger, P.:* Das Schwingungsverhalten eines einfachen Transformatorersatzschaltbildes. ETZ-Archiv 5 (1983) 11, S. 369–377
[21] *Reincke, F.:* Zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens von Transformatorwicklungen bei Netzvorgängen im Wanderwellenbereich. Dissertation A, Techn. Universität Dresden, 1985
[22] *Oswald, B.:* Zustandsdarstellung des Elektroenergiesystems zur Berechnung von elektromagnetomechanischen Ausgleichsvorgängen. Dissertation B, Technische Universität Dresden, 1981
[23] *Kostenko, M. V.:* Calculation and simulation of overvoltages in systems of substations with successive reflections of waves impinging from lines. Archivum Elektrotechniniki 15 (1966) 4, S. 777–791
[24] *Drescher, G.:* Bestimmung der Parameter zur Berechnung der Blitzspannungsbeanspruchung. Dissertation A, Technische Universität Dresden, 1976
[25] *Vielhauer, P.:* Lineare Netzwerke, Berlin: VEB Verlag Technik 1982
[26] *Rüdenberg, R.:* Elektrische Wanderwellen auf Leitungen und in Wicklungen. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1956
[27] *Bickford, J. P.; Mullineux, N.; Reed, J. R.:* Computation of power-system transients. Stevenage: Peter Peregrinus-Verlag, 1976
[28] *Bewley, L. V.:* Travelling waves on transmission systems. London: Chapmann & Hall Verlag 1951
[29] *Pfeiffer, G.:* Digitale Berechnung von Wanderwellenvorgängen in Energieversorgungsnetzen mit dem ZRA 1. Wiss. Z. der TH Ilmenau 14 (1968) 1, S. 27–35
[30] *Erlich, I.:* Modellierung des Elektroenergiesystems in der Zustandsform zur Simulation elektromechanischer Ausgleichsvorgänge. Dissertation A, Technische Universität Dresden, 1983
[31] *Diseko, N. L.; Bickford, J. P.:* A method of simulating linear and nonlinear resonant phenomena associated with transformer feeders. IEEE Proc. Pt. C. 127 (1980) 3, S. 169–178
[32] *Hedman, D. E.; Mountford, J. D.:* Travelling wave terminal simulation by equivalent circuit. IEEE Trans. PAS 90 (1971) 6, S. 2451–2459
[33] *Hedman, D. E.:* Theoretical evaluation of multiphase propagation. IEEE Trans. PAS 90 (1971) 6, S. 2460–2471
[34] *Lunze, K.:* Einführung in die Elektrotechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1978
[35] *Elschner, H.; Möschwitzer, A.; Reibiger, A.:* Rechnergestützte Analyse in der Elektronik. Berlin: VEB Verlag Technik 1977
[36] *Hoy, C.:* Transiente und stationäre Vorgänge auf Mehrleitersystemen mit frequenzabhängigen Parametern. Dissertation B, Technische Universität Dresden, 1980
[37] *Wölfel, D.:* Bestimmung des Verlaufes und der Verteilung der Temperaturen für elektrotechnische Betriebsmittel bei wechselnder Belastung. Dissertation A, Technische Universität Dresden, 1980
[38] *Hilemann, A. R.:* Lightning protection of stations. CIGRE-Progress-Report 33–73, SC – 05 (1973)
[39] *Cronin, J. C.:* Transient lightning overvoltage protection requirements for a 500-kV-gas-insulated substation. IEEE Trans. PAS 97 (1978) 1, S. 68–78
[40] *Tominaga, S.* u. a.: Protective performance of metal-oxid surge arresters based on the V-I-characteristics. IEEE-PES Winter meeting 1979, F. 29– 215 – 5, S. 1–9
[41] *Drescher, G.,* u. a.: Statistical calculation of overvoltages and breakdown voltages time characteristics as an contribution to the insulation co-ordination of GIS. CIGRE-Bericht 33-05, Paris (1982)
[42] *Bauer, H.; Drescher, G.; Koettnitz, H.:* Die Bestimmung des Blitzüberspannungsschutzes von SF_6-isolierten 123-kV-Schaltanlagen beliebiger Zusammenstellung. Z. elektr. Inform.- u. Energietechnik 12 (1982) 3, S. 193–206 und 12 (1982) 4, S. 319–333
[43] *Heller, B.; Veverka, A.:* Stoßerscheinungen in elektrischen Maschinen. Berlin: VEB Verlag Technik 1957
[44] *Sirotinski, L. I.:* Hochspannungstechnik. Äußere Überspannungen. Wanderwellen. Berlin: VEB Verlag Technik 1965
[45] *Mosch, W.; Eberhard, M.:* Beanspruchung elektrotechnischer Betriebsmittel in Elektroenergieanlagen. Beanspruchung durch äußere Überspannungen. Lehrbriefe für das Hochschulfernstudium – 3. Lehrbrief Nr. 9528-3. Berlin: VEB Verlag Technik 1976
[46] *Baatz, H.:* Überspannungen in Energieversorgungsnetzen. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag 1956

EA 5775

Berechnung des Streustromaustausches bei Gleichstrombahnen nach TGL 18790 mit dem spezifischen Arbeitsverbrauch

K. Tackmann, KDT

In TGL 18790 ist festgelegt, wann eine Gleichstrombahn als Gefahrenquelle für Streustromkorrosion an benachbarten metallenen Objekten wie Rohrleitungen, Kabeln u. dgl. anzusehen ist und zu speziellen Schutzmaßnahmen zwingt.
Nach

$$I/L = \frac{Q_a}{U_N L_g t_a} \tag{1}$$

errechnet man die Streckenbelastung. Darin bedeuten:

- I/L die Streckenbelastung in A/km,
- Q_a den Jahresenergieverbrauch in Wh,
- U_N die Nennspannung der Bahnanlage in V,
- L_g die Länge des gespeisten Streckennetzes unabhängig von der Anzahl der Gleise in km,
- t_a die Wirkdauer eines Jahres, 8760 h.

Die auf ein Jahr bezogenen Werte geben den Hinweis, daß die Berechnungen mit langzeitigen Mittelwerten ausgeführt werden müssen. Solch ein Wert ist für elektrische Bahnen auch der spezifische Arbeitsverbrauch a, der oft aus langjährigen statistischen Erfassungen oder überschläglichen Berechnungen zur Verfügung steht und das Rechnen wesentlich vereinfacht.
Aus dem spezifischen Arbeitsverbrauch a errechnet sich die Traktionsleistung zu

$$P = a\,L\,Z\,m. \tag{2}$$

Hierin ist

- P die Leistung für den Streckenabschnitt L in W,
- a der spezifische Arbeitsverbrauch in $\frac{\text{Wh}}{\text{tkm}}$,
- L der betrachtete Streckenabschnitt in km,
- Z die Anzahl der in einer Stunde diesen Abschnitt passierenden Züge in beiden Fahrtrichtungen in 1/h,
- m die Masse eines Zuges in t.

Dieser Wert für m läßt sich bei Triebwagenzügen im Nahverkehr (S-Bahn, U-Bahn) als einheitlicher Wert angeben.
Der Wert für L ist oft entscheidend für den zugehörigen Wert von a, denn je kürzer Haltepunktabstände sind, umso größer wird a und umso kürzer sind Unterwerksabstände, also auch Speiseweiten der Unterwerke bemessen. Setzt man L [in Gl. (2)] = L_g [in Gl. (1)], dann muß man die Übersicht über die Durchschnittswertbildung behalten und im Zweifelsfall, wenn nämlich kritische Ergebnisbereiche berührt werden, L und L_g für ausgewählte, kritische Abschnitte besonders bestimmen.
Unter den genannten Voraussetzungen kann man

$$Q_a = P\,t_a \tag{3}$$

in Wh bestimmen.
Aus (1) ergibt sich

$$\frac{I}{L} = \frac{P\,t_a}{U_N L_g t_a} = \frac{a\,L_g\,Z\,m\,t_a}{U_N L_g t_a},$$

$$\frac{I}{L} = \frac{a\,Z\,m}{U_N}, \tag{4}$$

$$\left(\frac{\text{Wh}}{\text{t km}} \times \frac{\text{Züge}}{\text{h}} \times \frac{\text{t}}{\text{Zug}} \times \frac{\text{l}}{\text{V}}\right).$$

Es ist nicht erforderlich, Ströme zu errechnen und ihre Mittelwerte zu bilden. Auch die Länge eines betrachteten Abschnitts geht zunächst nicht in die Berechnung ein, es wäre jedoch sehr leicht, für einen besonders hoch belasteten Teilabschnitt den spezifischen Arbeitsverbrauch gesondert zu ermitteln und hierzu dann die zulässige Speiseweite zu berechnen.
Für ein durchzurechnendes Beispiel sei der errechnete Wert für $a = 42$ Wh/tkm während der Spitzenbelastungszeit, der Zugfolgeabstand 2,25 min, die Zugzahl je Stunde in beiden Richtungen $Z = 53{,}3$ 1/h, die Zugmasse $m = 270$ t, die speisende Spannung $U_N = 895$ V. Dieser Wert gibt nicht die Fahrleitungsnennspannung an, sondern die treibende Gleichspannung im Gleichrichter. Mit diesem Wert darf nur gerechnet werden, wenn der spezifische Arbeitsverbrauch die Unterwerksverluste mit enthält (a_{UW}-Wert). In diesem Fall ist

$$\frac{I}{L} = \frac{42 \times 53{,}3 \times 270}{895} = 675\ \frac{\text{A}}{\text{km}}.$$

Die hohe Zugfolgedichte und damit der hohe spezifische Arbeitsverbrauch sind Spitzenwerte im Verlauf eines Tages. Zur Errechnung des Durchschnittswertes für einen Tag kann man von dem aus dem Tageslastgang errechneten Belastungsfaktor m nach TGL 200-0612/03, dem Standard für die Bemessung von Kabeln, Gebrauch machen, der für elektrische Schnellbahnen des Personennahverkehrs oft unter $m = 0{,}5$ liegt (von zeitweiligen Störbetriebszuständen oder Sonderverkehrsfahrplänen kann man absehen, da sie für das Jahresmittel bedeutungslos sind). Da es sich bei den Einflußgrößen auf diesen Wert, wie auch zu a, um proportionale Größen handelt, kann man den errechneten Wert für I/L mit diesem Faktor multiplizieren.
Im Beispiel ist danach

$$\frac{I}{L} = 675 \times 0{,}5 = 338\ \frac{\text{A}}{\text{km}}.$$

Die weitere Auswertung der Daten nimmt man nach der TGL 18790 vor. Für $I/L = 340$ ist $\gamma L = 0{,}66$ (Bild 8, Kurve a). Bild 1 zeigt das in der TGL angegebene Diagramm (dort Bild 8). Darin ist γL das Produkt der Fortpflanzungskonstante und der Speiseweite, $\frac{I}{L}$ der errechnete Quotient. Die Kurven a, b und c gelten für folgende Verhältnisse:

a) Fahrleitung negativ gepolt
b) Fahrleitung positiv gepolt
c) Fahrleitung positiv gepolt, Streustromableitung vorhanden.

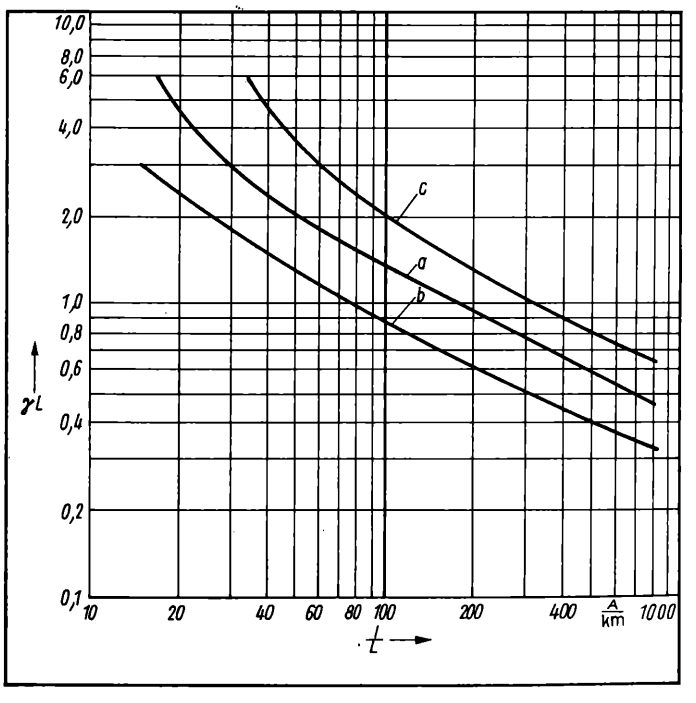
Nach Bild 1 ist bei $I/L = 400$ A/km, $\gamma L = 0{,}66$. Setzt man $\gamma = 0{,}2\ \text{km}^{-1}$ (Tafel 1 der TGL), dann ist $L = 3{,}30$ km die zulässige einfache Speiseweite. Der zulässige Unterwerksabstand beträgt 6,60 km.

Literatur

[1] TGL 18790: Korrosionsschutz; Schutz metallener Objekte vor Streustromkorrosion durch Gleichspannungsanlagen

EA 5894

Bild 1. Zulässige Streckenbelastung $\frac{I}{L}$ als Funktion der Fortpflanzungsgröße γL



Dipl.-Ing. *Kurt Tackmann* ist Brigadeleiter im Entwurfs- und Vermessungsbetrieb der Deutschen Reichbahn, Betriebsteil Berlin.

Rechnergestützte Untersuchung der Zuverlässigkeit der Grundschaltungen von Schaltanlagen[1)]

D. Chinkov; P. Mischev; N. Bozov; Sofia

Gegenwärtig darf die mittlere Ausfalldauer von Elektroenergiesystemen (EES) bereits 2 bis 3 h im Jahr nicht übersteigen. Das entspricht einer Verfügbarkeit von 0,99975. Die quantitative Berücksichtigung der Zuverlässigkeit bei der Planung, Projektierung und Betriebsführung des EES erfordert die Bereitstellung geeigneter Methoden. Auf der Grundlage der Zuverlässigkeitstheorie sind dafür in den letzten Jahren befriedigende Näherungsverfahren entwickelt worden, die insbesondere auch die Vergrößerung und die steigende Kompliziertheit des EES berücksichtigen. In diesem Sinne sind auch die durch das Institut Energieprojekt gemeinsam mit dem Lehrstuhl Kraftwerke der Hochschule für Maschinenbau und Elektrotechnik Sofia durchgeführten Arbeiten zur rechnergestützten Untersuchung der Zuverlässigkeit der Grundschaltungen von Schaltanlagen als wesentliche Elemente des EES zu verstehen. Der Grundaufbau des verwendeten Zuverlässigkeitsmodells sowie damit erzielte Ergebnisse werden im Beitrag vorgestellt.

1. Zuverlässigkeitsmodell

1.1. Allgemeine Zusammenhänge

Gegenstand der Betrachtungen sind die Schaltanlagen in Kraft- und Umspannungswerken. Das Modell muß in diesem Fall das Zuverlässigkeitsverhalten sowohl aller elektrotechnischen Geräte und Ausrüstungen (Schaltgeräte, Transformatoren, Generatoren, Einrichtungen zur Blindleistungsregelung, Relaisschutz, Automatik usw.) für sich als auch in ihrem Zusammenwirken berücksichtigen.

Unter dem Aspekt der Bewertung der Zuverlässigkeit kommt der Beschreibung der Funktion einer Schaltanlage im EES eine entscheidende Bedeutung zu. Sie kann folgende grundsätzliche Komponenten haben:

— Elektroenergieabführung
— Elektroenergiebereitstellung
— Elektroenergietransit.

Es hängt von der Lage der Schaltanlage im EES ab, welche dieser Komponenten im konkreten Fall zutreffend sind. Die weitere Untersetzung dieser Komponenten führt schließlich zu speziellen Zuverlässigkeitskriterien (im Sinne von Zielgrößen), z. B.

— Minimaler Mangel an Generatorleistung
— Maximale Durchlaßfähigkeit
— Quantitäts- und qualitätsgerechte Versorgung.

Es ist wesentlich zu erkennen, daß ein und derselbe Schaltzustand einer Schaltanlage diese Zuverlässigkeitskriterien je nach Situation in unterschiedlicher Weise beeinflußt. Die Zuordnung (Klassifizierung) der Schaltzustände der Schaltanlage zu den Zuverlässigkeitskriterien erweist sich damit als eine Grundfrage des Zuverlässigkeitsmodells. Auf diese Weise gelingt es, ausgehend von den Zuverlässigkeitskennziffern der Geräte und Ausrüstungen, die Erwartungswerte für die Häufigkeit (je Jahr) und die Dauer der Ereignisse anzugeben, die die jeweiligen Zuverlässigkeitskriterien beeinträchtigen.

Die Bewertung der Zuverlässigkeit erfolgt letztlich über ein integrales Kriterium in Form des Erwartungswertes (je Jahr) der nicht gelieferten Elektroenergie. Sie wird mit den obengenannten, ereignisbezogenen Kennwerten über die Ausfallleistung für den Zustand der Maximallast im EES ermittelt. Damit wird die Zuverlässigkeit schließlich als ein Bestandteil der ökonomischen Gesamteinschätzung in der Entscheidungsfindung berücksichtigt.

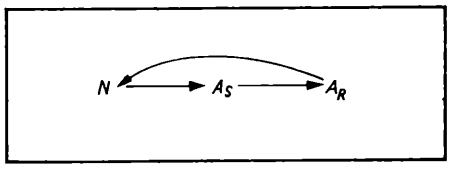
Bedingt durch die vorliegende Problemgröße ist es im Interesse der Handhabbarkeit des Zuverlässigkeitsmodells erforderlich, einige vereinfachende Vereinbarungen zu treffen. Bis auf einige spezifische Bedingungen bei Leistungsschaltern und Freileitungen [1] wird eine statistische Unabhängigkeit der Ausfallereignisse vorausgesetzt. Es werden ferner für Funktions- und Ausfalldauer Exponentialverteilungen angenommen. Außerdem sind noch folgende Besonderheiten von Bedeutung:

— Beim plötzlichen Ausfall (Sprungausfall) eines Elements erfolgt zunächst dessen Herausschaltung durch die in die Standardschutzperipherie einbezogenen Leistungsschalter. Der dadurch entstehende Schaltzustand wird mit S bezeichnet. Dieser, für das EES möglicherweise ungünstige Schaltzustand, kann anschließend durch geeignete Umschaltungen in einen günstigeren Schaltzustand R überführt werden, der nach Freischaltung des ausgefallenen Elements während dessen Reparaturdauer vorliegt. Der zunächst ungünstigere Schaltzustand S ist damit nur ein Übergangszustand während der Umschaltdauer, die im Mittel 30 bis 60 min beträgt.

— Alle Elemente unterliegen der Reihe nach einer vorbeugenden Instandhaltung (PVI). Der infolge der notwendigen Freischaltung des betreffenden Elements entstehende Schaltzustand wird mit M bezeichnet. Das EES befindet sich dabei in einem teilgeschwächten Zustand.

— Die Betriebsführung des EES erfordert mitunter Veränderungen des Normalschaltzustandes. Die dadurch z. T. veränderte Reaktion der Schaltanlage, insbesondere auf Sprungausfälle, ist im Modell zu berücksichtigen.

Bild 1
Aufeinanderfolge der Schaltzustände (1. Etappe)
N Normalschaltzustand der Schaltanlage



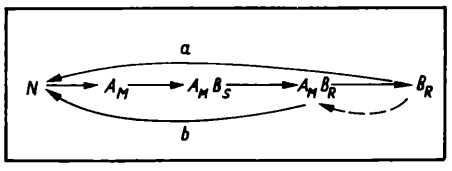


Bild 2. Aufeinanderfolge der Schaltzustände (2. Etappe)
a) $A_M B_R$ Ausfall im Sinne der Zuverlässigkeitskriterien
b) $A_M B_R$ kein Ausfall im Sinne der Zuverlässigkeitskriterien

1.2. Rechnergestützte Untersuchung

Die rechnergestützte Abarbeitung des Zuverlässigkeitsmodells geschieht in folgenden Etappen:

1. Nacheinanderfolgende Betrachtung der einzelnen Sprungausfälle aller Elemente. Dabei wird für jedes Element A wie folgt unterschieden:

— Wenn der Schaltzustand A_S keinen Ausfall im Sinne der vereinbarten Zuverlässigkeitskriterien darstellt, dann gilt das auch für A_R.
— Wenn A_S einen Ausfall darstellt, aber A_R nicht, dann wird dieser als Kurzzeitausfall klassifiziert.
— Wenn A_S und A_R einen Ausfall darstellen, dann wird A_S als Kurzzeitausfall und A_R als bleibender Ausfall klassifiziert.

Die Aufeinanderfolge der einzelnen Schaltzustände verdeutlicht Bild 1.

2. Nacheinanderfolgende Betrachtung der Gleichzeitigkeit der Ereignisse:

— Element A ist im Zustand der PVI
— Element B fällt plötzlich aus

für alle Elemente. Die entsprechenden Schaltzustände werden mit $A_M B_S$ bzw. $A_M B_R$ bezeichnet. Für die PVI des Elements A gilt, daß sie nicht beginnen darf bzw. abgebrochen werden muß, wenn der Ausfall des Elements B zu einem Ausfall im Sinne der Zuverlässigkeitskriterien führt. Hieraus resultiert für die Aufeinanderfolge der Schaltzustände die Darstellung im Bild 2.

3. Nacheinanderfolgende Betrachtung aller Situationen, bei denen beim Ausfall eines Elements A zusätzlich die Standardschutz-

Doz. Dr.-Ing. *D. Chinkov*, Hochschule für Maschinenbau und Elektrotechnik Sofia; Dr.-Ing. *P. Mischev* und Dipl.-Ing. *N. Bozov*, Institut Energoprojekt Sofia.

[1)] Vortrag zur VIII. Wissenschaftlichen Konferenz der Technischen Hochschule Zittau.

Bild 4. Grundschaltung für das Berechnungsbeispiel

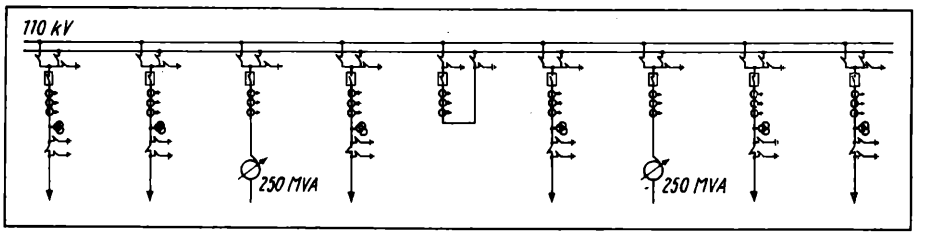
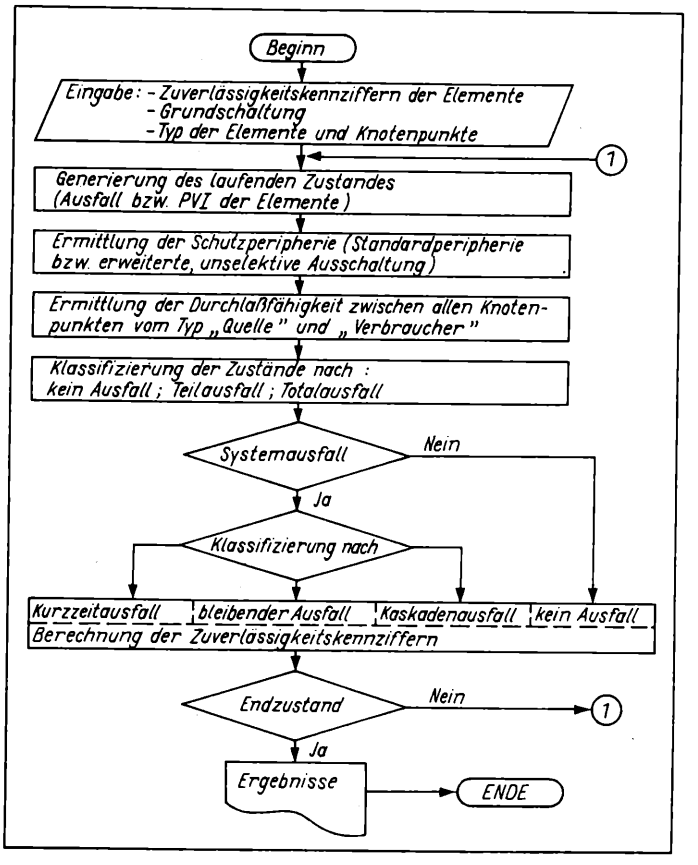


Bild 3. Vereinfachtes Blockschema des EDV-Programms



peripherie infolge Versagens entweder des Schutzes oder der betreffenden Leistungsschalter nicht wirksam wird. Die dabei auftretenden Schaltzustände werden wie folgt bezeichnet:

A_{SP} Schaltzustand beim Sprungausfall des Elements A und gleichzeitigem Versagen des Schutzes der Standardschutzperipherie,

A_{SB} Schaltzustand beim Sprungausfall des Elements A und gleichzeitigen Versagen eines Leistungsschalters der Standardschutzperipherie.

Tafel 1. Zuverlässigkeitskennziffern der Elemente

Element	λ a^{-1}	T_R h	T_U h	λ_M a^{-1}	T_M h
Spartransformator	0,037	200	0,5	1	60
Leistungsschalter	0,06	30	0,5	0,33	180
Freileitung (je 100 km)	0,7	10	0,5	0,167	210
Sammelschiene	0,01	2	0,5	1,167	24

λ Ausfallhäufigkeit; λ_M Instandhaltungshäufigkeit; T_R Reparaturdauer; T_U Umschaltdauer; T_M Instandhaltungsdauer

Tafel 2. Ausgewählte Berechnungsergebnisse

Ausgefallene Stromwege	Erwartungswert der Ausfallhäufigkeit 10^{-3} a^{-1}			Verminderte Durchlaßfähigkeit MVA		
	S	L	C	S	L	C
1 Leitung	–	4490,1	–	–	83	–
1 Transformator	–	211,9	–	–	250	–
3 Leitungen	133,7	–	–	250	–	–
1 Transf. + 2 Ltg.	405,1	–	0,7	250	–	250
1 Transf. + 3 Ltg.	–	–	41,2	–	–	250
1 Transf. + 6 Ltg.	1,4	–	1,0	500	–	250

S Kurzzeitausfall; L bleibender Ausfall; C Kaskadenausfall

Die notwendigen Ausschaltungen außerhalb der Standardschutzperipherie werden entweder durch die Automatik „Einrichtung zur Reservierung der Leistungsschalterausfälle" oder durch eine Reihe nichtselektiver Ausschaltungen realisiert. Die dadurch verursachten Ausfälle im Sinne der Zuverlässigkeitskriterien werden als nichtselektive Kaskadenausfälle bezeichnet.

Für die Aufeinanderfolge der dabei auftretenden Schaltzustände gilt eine zu 2. analoge Darstellung. Auf deren Grundlage werden mit Hilfe des Modells der Markow-Ketten die entsprechenden Zuverlässigkeitskennziffern ermittelt. Die entsprechenden Zusammenhänge sind in [1] und [2] angegeben.

Das vorgestellte Zuverlässigkeitsmodell ist in ein EDV-Programm überführt worden und läuft auf den Rechnern vom Typ EC 1055 und IBM 4341. Im Bild 3 ist das vereinfachte Blockschema des Programms dargestellt. Zur Speicherung der Grundschaltung einschließlich ihrer Elemente werden Knotenpunkte vereinbart. Sie dienen gleichzeitig als Knotenpunktpaar zur Elementeidentifikation. Zur Beurteilung im Sinne der Zuverlässigkeitskriterien sind bestimmte Knotenpunkte (z. B. Sammelschienen) von besonderem Interesse. Hier wird in Anlehnung an [3] zwischen Knotenpunkten vom Typ „Quelle" (Einspeisungen) und vom Typ „Verbraucher" (Abnahmen) unterschieden.

2. Berechnungsbeispiel

Die untersuchte Grundschaltung ist im Bild 4 dargestellt. Die Zuverlässigkeitskennziffern für die einzelnen Elemente sind in Tafel 1 angegeben. Tafel 2 enthält auszugsweise die mit dem Rechenprogramm erzielten Ergebnisse.

3. Zusammenfassung

Das vorgestellte Zuverlässigkeitsmodell zur Analyse der Zuverlässigkeit der Grundschaltungen von Schaltanlagen mit praktisch beliebiger Konfiguration ermöglicht bei der Planung und Projektierung die Auswahl einer optimalen Grundschaltung bzw. die Festlegung eines optimalen Schaltzustandes für die Betriebsführung. Nach erfolgreichem Abschluß umfangreicher Programmtests ist vorgesehen, das Rechnerprogramm 1988 in ein komplettes CAD-System zur Projektierung von Schaltanlagen zu integrieren.

Literatur

[1] *Guk, Ju. B.*: Grundlagen der Zuverlässigkeit von Elektroenergieanlagen. Leningrad: Verlag der Leningrader Universität 1976

[2] *Chinkov, D.*: Projektierung von Schaltanlagen. Sofia: Verlag VMEI „Lenin" 1986

[3] *Phillips, D. T.; Garsia-Diaz, A.*: Fundamentals of Network Analysis. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc. 1981

EA 5889

Belastungsgänge in öffentlichen Nieder- und Mittelspannungsnetzen

L. Bochanky, KDT, Dresden; S. Schurig, KDT, Pulsnitz

In [1] wird mit entsprechender Begründung empfohlen, für die Abbildung der Belastung innerhalb eines Jahres in öffentlichen Nieder (NS)- und Mittelspannungs (MS)-Netzen (Verteilungsnetzen) einfach handhabbare Modelle — bezeichnet als statistisch gestützte Belastungsmodelle — anzuwenden.
Die statistisch gestützten Belastungsmodelle [1] orientieren sich an bekannten Gangliniendarstellungen und -parametern, wobei die Parameterwerte als arithmetische Mittelwerte und, wenn ihre Bedeutung es erfordert, auch mit dem gesamten beobachteten Wertebereich (der Spannweite [2], S. 37) „statistisch gestützt" angegeben werden.
Man unterscheidet

— stationäre Modelle, die keine Zeitverläufe abbilden, sondern mit integralen Ganglinienparametern arbeiten, und
— nichtstationäre Modelle, die Zeitverläufe durch geeignete Gangliniendarstellungen abbilden.

In diesem Aufsatz wird eine Datenbasis für die statistisch gestützten Belastungsmodelle angegeben, die folgendermaßen zusammengetragen wurde:

— Auswertung der Literatur
— Sichtung von Ergebnissen laufender Betriebsmessungen
— Durchführung und Auswertung von Sondermessungen speziell für die hier interessierende Datenbasis.

Bei Daten, die der Literatur entnommen sind, wird die Quelle jeweils genannt. Die Daten ohne Quellenangabe entstammen Betriebs- und Sondermessungen im VEB Energiekombinat Dresden.
Sondermessungen waren insbesondere zur Gewinnung der Blindlast- und Leistungsfaktor-Ganglinien notwendig, die bisher für öffentliche NS- und MS-Netze weitgehend fehlten.
Die nachfolgend angegebene Datenbasis entstammt dem Bericht [3], der auch noch weitergehende Informationen und Interpretationen enthält. Einzuräumen ist, daß noch Lücken bestehen und die statistische Stützung an manchen Stellen noch verstärkt werden muß.
Bei NS-Netzen wird bei der Datenangabe zwischen verschiedenen Versorgungsgebieten („Abnehmerstrukturen") unterschieden, so wie sie sich aus der Sicht der Ganglinienformen als typisch herausgestellt haben. Bei MS-Netzen wird hier infolge der dort schon starken Durchmischung verschiedenster Abnehmer darauf verzichtet.

1. Integrale Ganglinienparameter

(Datenbasis für stationäre statistisch gestützte Belastungsmodelle nach [1])

1.1. Belastungsgrad

Der Belastungsgrad m (Verhältnis Mittelwert zu Höchstwert des Stromes in der Tagesganglinie [1]) wird für die Bestimmung der Strombelastbarkeit der Kabel nach [4] benötigt.
Angaben zu den Mittelwerten und Spannweiten des Belastungsgrades sind in Tafel 1 enthalten. Sie beziehen sich auf Winterwerktage. In diese Tafel wurden zu Vergleichszwecken und wegen der Unvollständigkeit der Daten für NS-Leitungen auch Werte für Transformatoren aufgenommen. Werden sie auf Leitungen angewendet (Werte von Ortsnetztransformatoren auf NS-Leitungen und von 110 kV/MS-Transformatoren auf MS-Leitungen), so liegt man meist auf der sicheren Seite. Für die Bestimmung der Belastbarkeit der Transformatoren nach [5] haben die Belastungsgrade keine Bedeutung.

Doz. Dr. sc. techn. *Lutz Bochanky* und Ing. *Sieghard Schurig*, VEB Energiekombinat Dresden.

1.2. Jahresbenutzungsfaktoren

Die Jahresbenutzungsfaktoren der Schein-, Wirk- und Blindhöchstleistung $n_{S\,max}$, $n_{P\,max}$ und $n_{Q\,max}$ (Verhältnisse Mittelwert zu Höchstwert der jeweiligen Leistung in der vollständigen Jahresganglinie [1]) sind Grundlage für die Bestimmung der Schein-, Wirk- und Blindarbeitsverlustfaktoren nach Abschn. 1.3. Wegen $n_{S\,max} \approx n_{P\,max}$ kann die Betrachtung auf $n_{P\,max}$ und $n_{Q\,max}$ beschränkt werden [1].
Für $n_{P\,max}$ liegen statistisch gestützte Werte seit langem vor [7]. Sie sind im Bild 1 angegeben, wobei die dick ausgezogenen Kurven die Mittelwerte und die schraffierten Bereiche die Werte innerhalb der Spannweiten symbolisieren. Repräsentative Mittelwerte aus Bild 1 sind in Tafel 1 aufgenommen worden.
Für $n_{Q\,max}$ waren weder Werte bekannt, noch war es möglich, an genügend vielen Netzpunkten ganzjährige Messungen durchzuführen. Deshalb mußten sie mit einer geeigneten Verfahrensweise [3] abgeschätzt werden. Ausgehend von den Tages-, Wochen- und Jahresganglinien nach den Abschnitten 2.1. bis 2.3. ergaben sich dabei für das Verhältnis $n_{Q\,max}/n_{P\,max}$ bei NS-Leitungen und Ortsnetztransformatoren die Werte 2,0 (A, B) bzw. 1,2 (C, D1, D2) und bei MS-Leitungen und 110 kV/MS-Transformatoren der Wert 0,75. Die in Tafel 1 angegebenen Mittelwerte für $n_{Q\,max}$ beruhen auf diesen Verhältniswerten. Die Spannweiten lassen sich gleichermaßen ausgehend von Bild 1 bestimmen.

1.3. Arbeitsverlustfaktoren

Die Schein-, Wirk- und Blindarbeitsverlustfaktoren ϑ, ϑ_P und ϑ_Q werden zur Verlustaufwandsberechnung benötigt [1].
Die Bestimmung dieser Faktoren ist über einfache Diagrammablesungen aus den entsprechenden Jahresbenutzungsfaktoren möglich [1]. Wegen $n_{S\,max} \approx n_{P\,max}$ gilt auch $\vartheta \approx \vartheta_P$, wodurch eine Einschränkung der Betrachtung auf ϑ_P und ϑ_Q erfolgen kann.
Mittelwerte für ϑ_P und ϑ_Q gehen aus Tafel 1 hervor. Sie beruhen auf den in der gleichen Tafel genannten Mittelwerten für $n_{P\,max}$ und $n_{Q\,max}$. Interessieren auch die Spannweiten, so können sie über die erwähnte Diagrammablesung aus den Spannweiten von $n_{P\,max}$ und $n_{Q\,max}$ ermittelt werden.

1.4. Mittlerer Leistungsfaktor

Der mittlere Leistungsfaktor $\cos \varphi_m$, der sich aus der im Betrachtungszeitraum übertragenen Wirk- und Blindarbeit ergibt [1], hat für Fragen der Bemessung bzw. der Blindleistungskompensation eigentlich keine bzw. nur eine sehr eingeschränkte Bedeutung. Maßgebend sind vielmehr Leistungsfaktoren in dafür besonders interessierenden Intervallen, z. B. für die Bemessung im Höchstlastintervall. Wenn, wie bisher verbreitet üblich, mangels Leistungsfaktorganglinien mit mittleren Leistungsfaktoren gerechnet wird, so kann das zu nichtoptimalen Varianten führen (Abschn. 2.5.). Das gilt sinngemäß auch für Elektroenergietarife, die bisher ebenfalls, wenn der Leistungsfaktor Tarifbestandteil ist, von einem über eine größere Intervallanzahl errechneten zeitlichen Mittelwert ausgehen.
Mittelwerte und Spannweiten von mittleren Leistungsfaktoren sind aus Tafel 1 ersichtlich. Dabei handelt es sich um Tagesmittelwerte für Winterwerktage.

1.5. Belastungsdauerlinien

Aus Belastungsdauerlinien kann die zu erwartende Überschreitungsdauer bestimmter Belastungen innerhalb des Betrachtungszeitraumes (eines Jahres) abgelesen werden. Sie haben netztechnisch im Zusammenhang mit der Elektroenergiequalität (siehe z. B. [1] und [8], Abschnitte 4.2.1. und 8.2.3.) und der Versorgungszuverlässigkeit (siehe z. B. [9]) Bedeutung.
Die Ermittlung von Belastungsdauerlinien bzw. ihrer Parameterwerte ist aufwendig und konnte im Rahmen der Untersuchung [3] nicht vorgenommen werden. Sie erfordert Langzeitmessungen über ein Jahr an hinreichend vielen Netzpunkten und deren Auswertung oder eine synthetische Berechnung ausgehend von den Tages-, Wochen- und Jahresganglinien nach Abschn. 2. Zunächst müssen ältere, aus der Literatur [10] [11], S. 41—49 bekannte Dauerlinien weiterverwendet werden (siehe z. B. [8], S. 59 und 60).

1.6. Spezielle Anwendungen

In den vorstehenden Abschnitten wurde die Bedeutung der einzelnen Ganglinienparameter allgemein umrissen. Abschließend soll noch auf einige spezielle Anwendungsfälle der ermittelten Datenbasis (Tafel 1) verwiesen werden:

— Der Belastungsgrad für NS-Leitungen (NS-Kabel) liegt insbe-

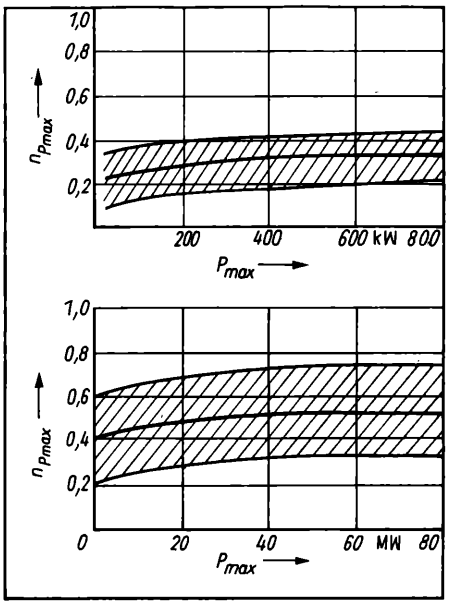


Bild 1. Jahresbenutzungsfaktor der Wirkhöchstleistung $n_{P\,max}$ für NS-Leitungen und Ortsnetztransformatoren (oben) sowie MS-Leitungen und 110 kV/MS-Transformatoren (unten) [7]

Tafel 1. Daten für integrale Ganglinienparameter

Betriebsmittel	Versorgungsgebiet	$\bar{m}$	R	$\bar{n}_{P\,max}$ [1]	$\bar{n}_{Q\,max}$ [1]	$\bar{\vartheta}_P$ [1]	$\bar{\vartheta}_Q$ [1]	$\frac{\cos\varphi_m}{\cos\varphi_{\bar{m}}}$ [2]	R
NS-Leitungen	A	0,35	0,39 – [6]	0,16[3]	0,32	0,05	0,15	etwa wie bei Ortsnetztransformatoren	
	B			0,16[3]	0,32	0,05	0,15		
	C	0,41	0,49 – [6]	0,24	0,29	0,10	0,12		
	D1			0,24	0,29	0,10	0,12		
	D2			0,24	0,29	0,10	0,12		
Ortsnetztransformatoren	A	0,32	0,36 – 0,28	0,20[3]	0,40	0,08	0,20	0,87	0,90 – 0,84
	B	0,42	0,46 – 0,37	0,20[3]	0,40	0,08	0,20	0,85	0,86 – 0,84
	C	0,70	0,72 – 0,65	0,28	0,34	0,12	0,16	0,94	0,97 – 0,90
	D1	0,51		0,28	0,34	0,12	0,16	0,96	0,97 – 0,95
	D2	0,75	0,77 – 0,72	0,28	0,34	0,12	0,16	0,96	0,97 – 0,95
MS-Leitungen		0,78[4]	0,90 – 0,65	0,42	0,32	0,22	0,14	etwa wie bei 110 kV/MS-Transformatoren	
110 kV/MS-Transformatoren		0,81	0,90 – 0,71	0,50	0,38	0,30	0,18	0,97	0,98 – 0,95

A Stadt, Neubaugebiet ohne Gas; B Stadt, Neubaugebiet mit Gas; C Stadt, Altbaugebiet; D1 Dorf, normaler Speicherheizungseinfluß; D2 Dorf, hoher Speicherheizungseinfluß; $\bar{x}$ (z. B. $\bar{m}$) arithmetischer Mittelwert aller Meßwerte (z. B. aller Meßwerte für m); $R = x_{max} - x_{min}$ (z. B. $m_{max} - m_{min}$) Spannweite, umfaßt alle Meßwerte

[1]) R siehe Text
[2]) Messungen erfolgten bei Transformatoren auf der Unterspannungsseite
[3]) Die Werte wurden dem Bereich unterhalb der Mittelwertkurve im Bild 1 entnommen, um die in den Versorgungsgebieten A und B besonders kleinen m-Werte zu berücksichtigen.
[4]) nach [4] ist üblich: $\bar{m} = 0{,}7$ bis 0,8 bzw. bei überwiegender Wohngebietsbelastung $\bar{m} = 0{,}6$ bis 0,7

sondere in Neubaugebieten (Versorgungsgebiete A und B) deutlich unter $m = 0{,}5$. Das geht aus den statistisch sehr gut untermauerten Angaben [6] sowie aus dem Vergleich mit den Ortsnetztransformatoren hervor. Gegenüber dem jetzt in der Regel anzusetzenden Wert $m = 0{,}5$ [12] werden sich daraus Belastbarkeitsreserven bzw. Bemessungseinsparungen ergeben. Sie können allerdings gegenwärtig nicht ohne weiteres quantifiziert werden, weil der Wertebereich $m < 0{,}5$ in [4] nicht berücksichtigt ist.

— Für den Belastungsgrad von MS-Leitungen (MS-Kabel) sollte ein Richtwert von $m = 0{,}8$ angewendet werden, sofern es sich nicht um überwiegende Wohngebietsbelastung handelt. Der bisher oft genannte globale Richtwert von $m = 0{,}7$ (z. B. in [8], S. 69) erscheint etwas zu niedrig.

— Der Blindarbeitsverlustfaktor ϑ_Q darf entgegen einer gängigen Praxis nicht mit dem Schein- oder Wirkarbeitsverlustfaktor ϑ oder ϑ_P gleichgesetzt werden. Bei einer Gleichsetzung werden z. B. die Verlustarbeits- und Verlustaufwandseinsparungen durch Blindleistungskompensation zu hoch ermittelt, weil in den Netzebenen von den MS-Leitungen aufwärts, in denen der Hauptanteil der Einsparung auftritt, $\vartheta_Q < \vartheta \approx \vartheta_P$ gilt.

Weitere Einzelheiten zu den speziellen Anwendungen können [3] entnommen werden.

2. Ganglinien und diskrete Ganglinienparameter

(Datenbasis für nichtstationäre statistisch gestützte Belastungsmodelle nach [1])

2.1. Tagesganglinien (Tgl)

Die Tgl wird in [1] als Folge von Intervallmittelwerten definiert, wobei eine Intervallänge von 1 h zugrunde gelegt ist.

Nachfolgend werden Winter-Tgl für die auf den Tageshöchstwert bezogene Wirklast p und Blindlast q sowie für den Leistungsfaktor cos φ angegeben. Dabei handelt es sich nicht um aus allen gemessenen Tgl errechnete Mittelwert-Tgl, sondern um konkret gemessene Tgl, die aus der Sicht aller gemessenen Tgl als repräsentativ angesehen werden können und deshalb auch als repräsentative Tgl bezeichnet werden sollen. Zusammen angegebene Tgl für p, q und cos φ beziehen sich jeweils auf gleiche Meßstellen und -zeiträume. Auf eine gesonderte Angabe von bezogenen Tgl der Scheinleistung s kann verzichtet werden, weil sie sich nicht nennenswert von den Tgl für p unterscheiden.

Die statistische Stützung der Tgl erfolgt für besonders interessierende Intervalle im Abschn. 2.4. Die dort angegebenen Parametermittelwerte können von den repräsentativen Tgl naturgemäß etwas abweichen.

2.1.1. NS-Leitungen und Ortsnetztransformatoren

Die repräsentativen Tgl sind im Bild 2 dargestellt. Sie wurden auf der NS-Seite von Ortsnetztransformatoren gemessen. Bei NS-Leitungen treten, bedingt durch den noch geringeren Ausgleichseffekt (siehe unten), etwas stärkere Schwankungen auf.

Auf folgende der aus Bild 2 erkennbaren Eigenschaften der repräsentativen Tgl soll besonders hingewiesen werden:

— Wirklast p: Einheitliche Abnehmerstrukturen führen zu starken Schwankungen, in denen Mittags- und Abendspitzen deutlich hervortreten (A, B, D1-Sonntag), während bei gemischten Strukturen schon im NS-Netz ein Ausgleichseffekt wirksam wird (C, D1-Mittwoch). Bei hohem Speicherheizungseinfluß geht die natürliche Tgl, abgesehen von der sonntäglichen Mittagsspitze, weitgehend unter (D2).

— Blindlast q: Die Ganglinienformen haben teilweise Ähnlichkeiten mit denen der Wirklast, schwanken aber in den meisten Fällen weniger. Die Intervalle der maximalen Blindlast fallen nur teilweise (bei A, B) mit denen der maximalen Wirklast zusammen.

— Leistungsfaktor cos φ: Die Abnehmerstrukturen bilden sich ähnlich wie bei der Wirklast ab. Die erstaunlich niedrigen (aus der Gesamtblindleistungsbilanz des Elektroenergiesystems aber keineswegs unerwünschten) nächtlichen cos φ-Werte um 0,7 in Neubaugebieten (A, B) erklären sich daraus, daß zu dieser Zeit die Belastung durch Kühlgeräte dominiert. Bei hohem Speicherheizungseinfluß ergaben sich in dieser Zeit dagegen naturgemäß cos φ-Werte nahe 1,0 (D2). Bedeutsam ist, daß die Intervalle des maximalen Leistungsfaktors und der maximalen Wirklast fast immer zusammenfallen. Daraus werden im Abschn. 2.5. noch spezielle Schlußfolgerungen abgeleitet.

Zu dem genannten Ausgleichseffekt ist noch zu vermerken, daß er nicht nur mit der Abnehmermischung, sondern auch mit der Abnehmeranzahl zunimmt. Daraus erklärt sich auch, daß innerhalb einheitlicher Abnehmerstrukturen auf große Abnehmerzahlen hochgerechnete Wirklast-Tgl (siehe z. B. [13] [14]) geringer schwanken als die Wirklast-Tgl im Bild 2. Die hochgerechneten Tgl sind insbesondere für energiewirtschaftliche Betrachtungen bedeutsam, während die an bestimmten Betriebsmitteln real meßbaren Tgl nach Bild 2 netztechnischen Untersuchungen zugrunde zu legen sind.

2.1.2. MS-Leitungen und 110 kV/MS-Transformatoren

Die repräsentativen Tgl gehen aus Bild 3 hervor. Sie wurden auf der MS-Seite von 110 kV/MS-Transformatoren gemessen. Hinsichtlich der MS-Leitungen gelten die Aussagen für NS-Leitungen analog.

Bedeutsame Abweichungen von den repräsentativen Tgl können auftreten, wenn ein starker Wohngebietseinfluß vorhanden ist (Wirklastspitze abends dann höher als früh), oder wenn nahezu ausschließlich Industrieabnehmer versorgt werden (z. B. unerwünschtes Auftreten von Leistungsfaktoren im kapazitiven Bereich in Schwachlastzeiten).

Wichtige Unterschiede zu den repräsentativen Tgl der NS-Leitungen und Ortsnetztransformatoren bestehen darin, daß bei MS-

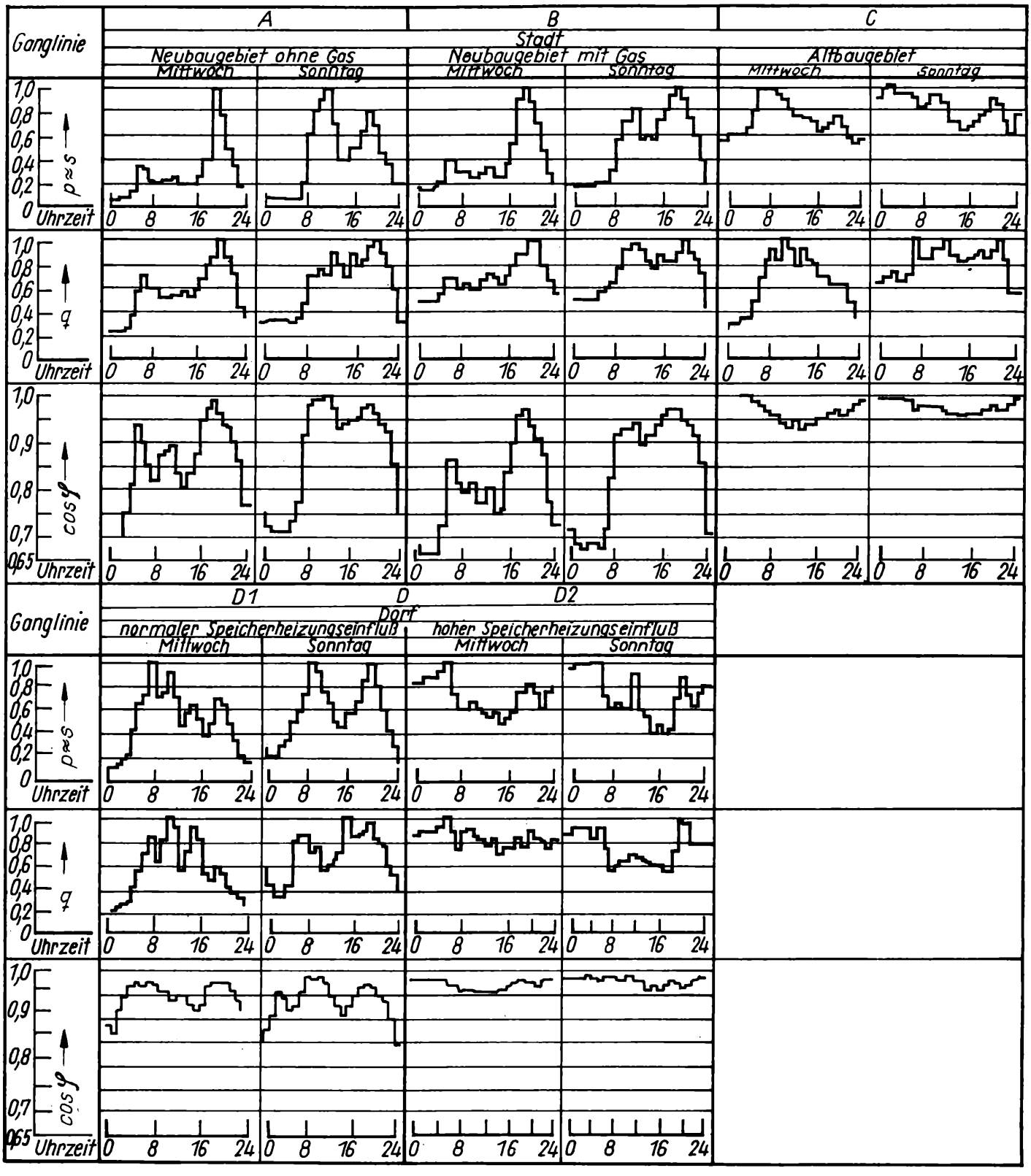


Bild 2. Repräsentative Tagesganglinien für NS-Leitungen und Ortsnetztransformatoren

Leitungen und 110 kV/MS-Transformatoren

— die Blindlast stärker als die Wirklast schwankt
— die maximale Wirk- und Blindlast zeitlich zusammenfallen und
— der maximale Leistungsfaktor und die maximale Wirklast zeitlich nicht zusammenfallen.

Die Unterschiede resultieren aus dem Einfluß der über die Abnehmerstationen versorgten Industriebetriebe.

2.2. Wochenganglinien (Wgl)

Die Wgl sind in [1] als Folge von Tageshöchstlasten definiert. Im Bild 4 sind Winter-Wgl für Ortsnetz- und 110 kV/MS-Transformatoren angegeben. Dabei handelt es sich hier im Gegensatz zu den Tgl im Absehn. 2.1. um Mittelwert-Wgl, die aus allen gemessenen Wgl errechnet wurden. Die geringfügigen Unterschiede der Höchstlasten von Montag bis Freitag wurden dabei nicht beachtet. Folgendes ist ersichtlich:

— Die Tageshöchstlasten am Wochenende liegen mit Ausnahmen bei den Ortsnetztransformatoren in den Versorgungsgebieten A und B unter den Werten an den Werktagen. Voraussichtlich werden diese Ausnahmen perspektivisch nicht mehr bestehen [8], S. 110.

— Die Blindlast geht an den Wochenenden etwas (Ortsnetztransformatoren) bzw. viel mehr (110-kV/MS-Transformatoren) zurück als die Wirklast.

— Die Leistungsfaktoren an Wochenenden entsprechen etwa denen von Werktagen (Ortsnetztransformatoren, Bild 2) oder liegen darüber (110 kV/MS-Transformatoren, Bild 3).

Die Unterschiede in den Wgl erklären sich wieder aus dem Einfluß der Industrieabnehmer.

Bild 3. Repräsentative Tagesganglinien für MS-Leitungen und 110 kV/MS-Transformatoren

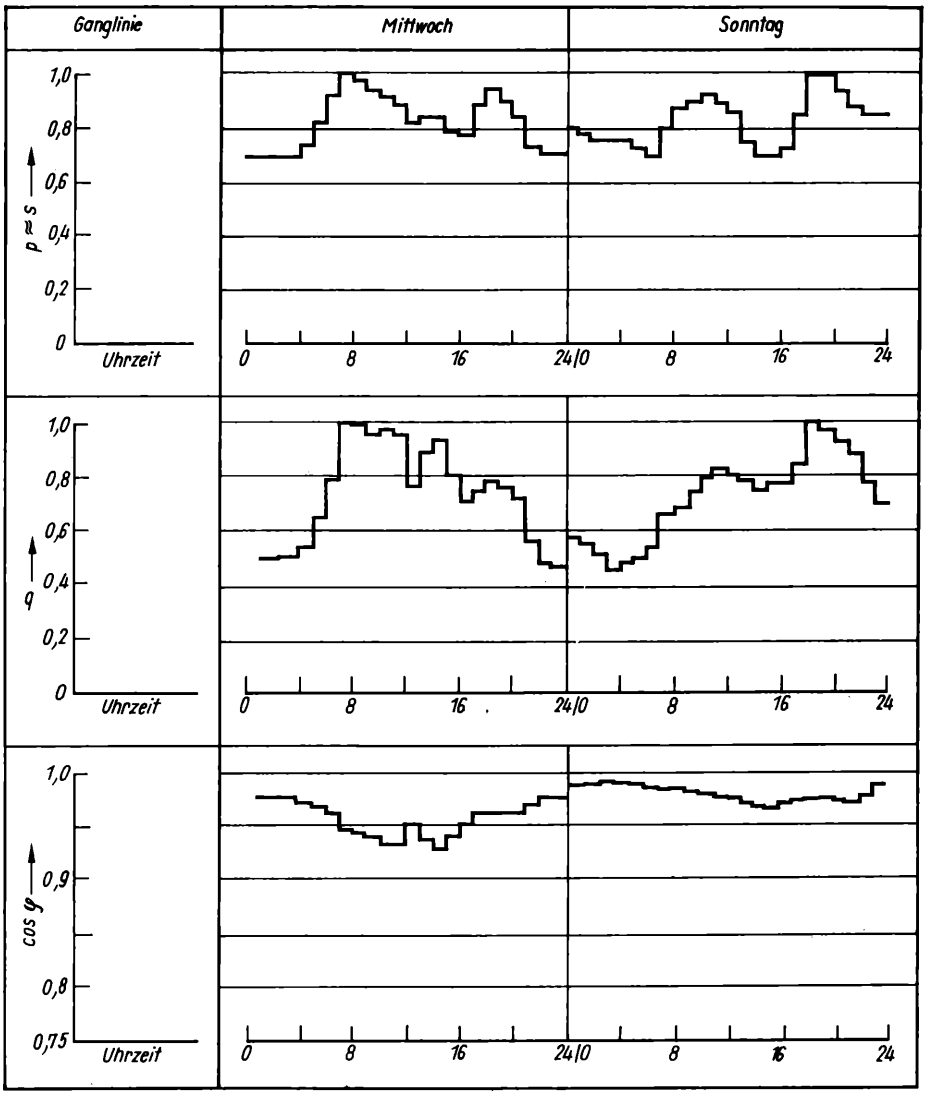
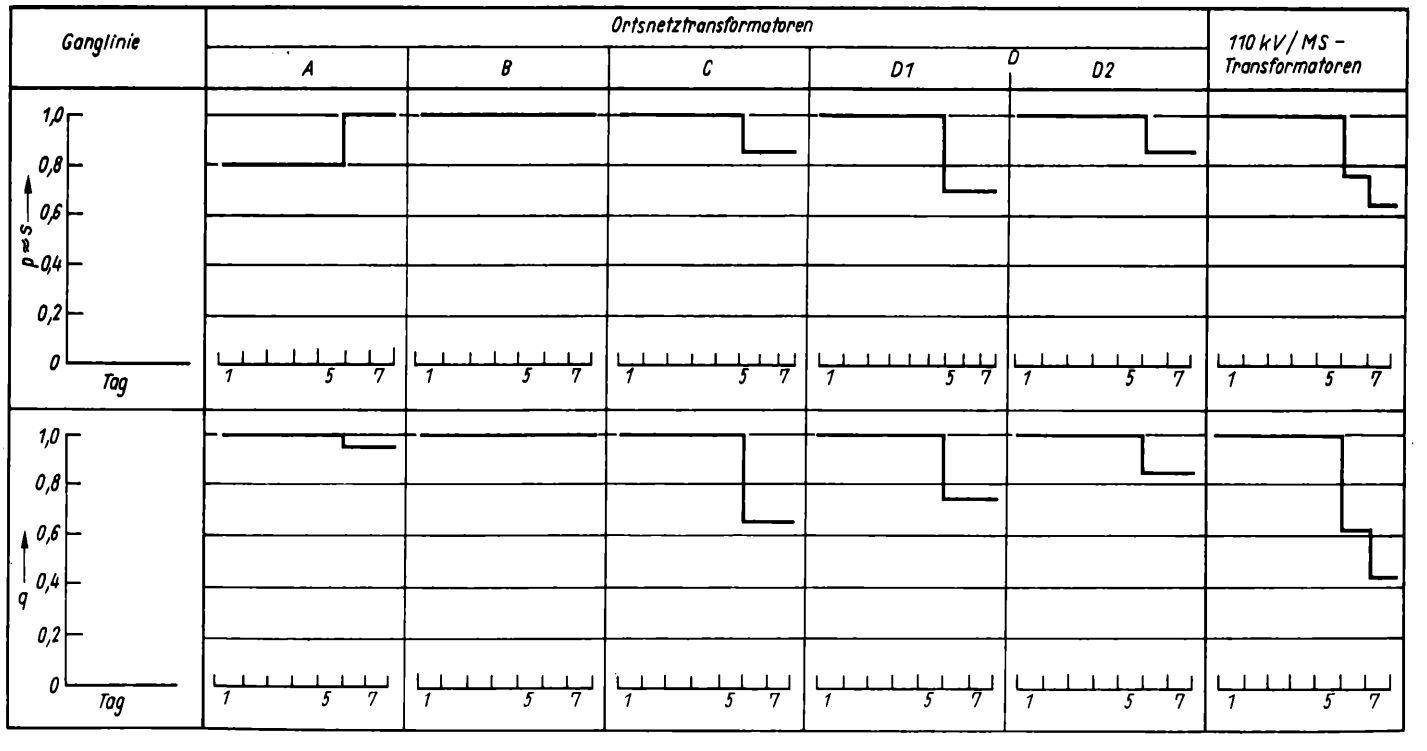


Bild 4. Mittelwert-Wochenganglinien für Ortsnetz- und 110 kV/MS-Transformatoren (Versorgungsgebiete A bis D nach Tafel 1 oder Bild 2)
Spannweiten R bei 110 kV/MS-Transformatoren (s.a. Abschn. 2.4.):

	6 (Sonnabend)	7 (Sonntag)
p	0,84 – 0,63	0,78 – 0,61
q	0,70 – 0,55	0,66 – 0,29



2.3. Jahresganglinien (Jgl)

Als Jahresganglinie ist die Folge von Monatshöchstlasten definiert [1].

Für Ortsnetztransformatoren können mangels Daten gegenwärtig weder repräsentative Jgl noch Mittelwert-Jgl angegeben werden. Lediglich für die Wirklast lagen einige Jgl vor. Diese Beispiele weisen auf Sommerbelastungen um $p \approx 0{,}5$ (Versorgungsgebiet A, Juni bis August) bzw. $p \approx 0{,}7$ (D1, Mai bis September) hin, wobei

bei A auch $p \rightarrow 1{,}0$ auftreten kann, wenn eine Kälteperiode und die instandhaltungsbedingte Nichtverfügbarkeit der Fernheizung zusammenfallen und deshalb von den Abnehmern elektrische Heizgeräte betrieben werden.

Für 110 kV/MS-Transformatoren sind Mittelwert-Jgl im Bild 5 aufgetragen. Man erkennt, daß die Blindlast über einen längeren Zeitraum als die Wirklast absinkt, und daß das Intervall der maximalen Blindlast mit einem Intervall der maximalen Wirklast zusammenfällt. Auf die Darstellung der Mittelwert-Jgl des bedeutsamen Leistungsfaktors im Höchstlastintervall der Tgl (Mo bis Fr, 7.00 bis 8.00 Uhr) konnte verzichtet werden, da dieser Mittelwert praktisch keinen jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt.

2.4. Diskrete Ganglinienparameter

Die besonders interessierenden Intervalle der Ganglinien werden durch diskrete Ganglinienparameter beschrieben, für die nachfolgend — soweit gegenwärtig vorhanden — Mittelwerte und Spannweiten angegeben sind. Hinweise auf die Zeiträume, in denen zeitlich nicht festgelegte Intervalle (z.B. Höchst- und Mindestlastintervall) auftreten, können den Abschnitten 2.1. bis 2.3. sowie [3] entnommen werden.

Eine Übersicht zu den besonders interessierenden Intervallen einschließlich der zu beschreibenden Parameter ist in [1] enthalten. Diese Intervalle sind dort mit Nummern versehen, die zur Wahrung des Zusammenhangs auch nachfolgend genannt werden sollen.

Wirk- und Blindlast

— Wirk- und Blindhöchstlast (Intervalle 1, 2, 3 und 11, 12, 13): Definitionsgemäß gilt $p = 1$ und $q = 1$ ohne Spannweite.

— Wirk- und Blindlast Mo bis Fr, 7.00 bis 8.00 Uhr (Intervalle 4 und 14): Diese Intervalle sind bedeutsam für die Bestimmung von Höchstlastanteilen bzw. Gleichzeitigkeitsfaktoren für die Leistungsbedarfsberechnung ([8], Abschnitte 8.1. und 9.1.) und von Überlappungsfaktoren für die Verlustaufwandsberechnung ([1] [8], S. 52). Für die Gleichzeitigkeitsfaktoren der Schein-, Wirk-, Blindlast g, g_P, g_Q und die Schein-, Wirk-, Blindüberlappungsfaktoren $\ddot{u}$, $\ddot{u}_P$, $\ddot{u}_Q$ gilt ausgehend von p und q in diesen Intervallen:

$$g \approx g_P = p \qquad \ddot{u} \approx \ddot{u}_P = p^2$$
$$g_Q = q \qquad \ddot{u}_Q = q^2$$

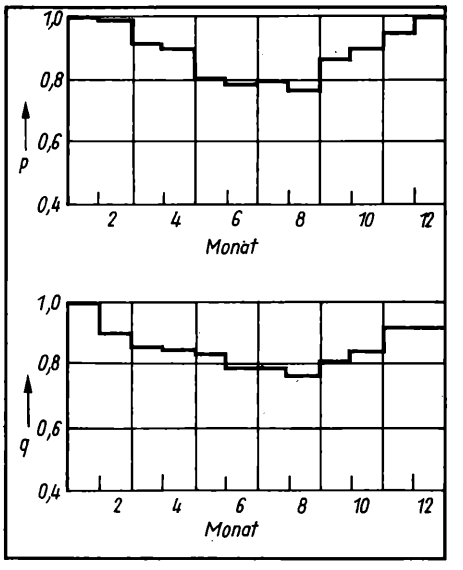
Mittelwerte und Spannweiten gehen aus Tafel 2 hervor.

— Wirk- und Blindlast Mo bis Fr, 18.00 bis 20.00 Uhr (Intervalle 5 und 15): Diese Intervalle interessieren für MS-Leitungen als Grundlage für Spannungsfallberechnungen dann, wenn die Höchstlast im MS- und NS-Netz nicht zeitgleich Mo bis Fr, 7.00 bis 8.00 Uhr, sondern im NS-Netz davon abweichend Mo bis Fr, 18.00 bis 20.00 Uhr auftritt. Für das MS-Netz können für dieses Intervall folgende Mittelwerte und Spannweiten angegeben werden: $\bar{p} = 0{,}84$ ($R = 0{,}95 - 0{,}78$), $\bar{q} = 0{,}60$ ($R = 0{,}77 - 0{,}56$).

— Wirk- und Blindhöchstlast Sonnabend und Sonntag (Intervalle 6, 7, 16, 17): Diese Intervalle interessieren u.a. für die zeitliche Einordnung bestimmter Instandhaltungsarbeiten und für die Abschätzung von Werten integraler Ganglinienparameter. Mittelwerte und Spannweiten wurden bereits im Bild 4 angegeben.

— Wirk- und Blindmindestlast (Intervalle 8, 9, 10 und 18, 19, 20): Die Mindestlasten werden in analoger Weise wie die vorstehenden Wochenendhöchstlasten verarbeitet, und sie spiegeln wegen der bezogenen Darstellung das Verhältnis Mindestlast zu Höchstlast direkt wider. Repräsentative Werte bzw. Mittelwerte können den Bildern 2, 3 bzw. 4 und 5 entnommen werden, hinsichtlich der Spannweiten wird auf [3] verwiesen.

Bild 5
Mittelwert-Jahresganglinien für 110-kV/MS-Transformatoren



Leistungsfaktor

— Mittelwerte und Spannweiten für Leistungsfaktoren in den besonders interessierenden Intervallen gehen aus Tafel 2 hervor. Sie sind bedeutsam für Fragen der Blindleistungskomponensation. Der Leistungsfaktor im Intervall der Wirkhöchstlast nimmt darüber hinaus direkten Einfluß auf Strom- und Spannungsfallberechnungen und damit auf die Bemessung.

— Aus den an der Unterspannungsseite gemessenen Leistungsfaktoren und dem Blindleistungsverlust im Transformator können die Leistungsfaktoren auf der Oberspannungsseite näherungsweise berechnet werden. Für 110-kV/MS-Transformatoren ergibt sich auf diesem Wege z.B. für die wichtigen Intervalle 3 bzw. 4 aus der Spannweite $R = 0{,}98 - 0{,}94$ auf der MS-Seite eine Spannweite $R = 0{,}96 - 0{,}91$ auf der 110-kV-Seite.

2.5. Spezielle Anwendungen

Analog zu Abschn. 1.6. soll noch auf einige spezielle Anwendungsfälle der ermittelten Datenbasis verwiesen werden:

— Die Ganglinien sind Grundlage für die Werte der integralen Parameter nach Abschn. 1. und für die Ermittlung von Belastbarkeitsgrenzen. So ist z.B. aus den Tgl nach Bild 2 erklärbar, warum für Ortsnetztransformatoren in Neubaugebieten (bei fast reiner Wohnungsbelastung) die Belastbarkeit nach [5] besonders hoch ist.

— Die bezogenen Ganglinien und deren Hierarchie ermöglichen die Lastabschätzung für alle Zeitpunkte innerhalb eines Jahres, ausgehend von einem in einem beliebigen Zeitpunkt gemessenen Absolutwert. Das hilft, Zeiträume mit „freier Leistung" und damit Möglichkeiten für Anschlüsse solcher Abnehmer zu erkennen, die diese Leistung in Anspruch nehmen können und die Höchstlast nicht vergrößern [16]. Als Beispiele seien die Elektrospeicherheizung aus der Sicht der Tgl [8], S. 114, und nur im Sommer genutzte Meliorationsanlagen und Erholungsbauten aus der Sicht der Jgl ge-

Tafel 2. Daten für diskrete Ganglinienparameter

Betriebsmittel	Versorgungsgebiet	g_P $\bar{g}_P$ R	g_Q $\bar{g}_Q$ R	$\ddot{u}_P$ $\bar{\ddot{u}}_P$ R	$\ddot{u}_a$ $\bar{\ddot{u}}_Q$ R	Leistungsfaktor[1]) im Intervall[2]) der Wirkhöchstlast (3) $\overline{\cos\varphi}$ R	Mo – Fr, 7.00 – 8.00 Uhr (4) $\overline{\cos\varphi}$ R	des maximalen Leistungsfaktors (21,22) $\overline{\cos\varphi}$ R	des minimalen Leistungsfaktors (23,24) $\overline{\cos\varphi}$ R
NS-Leitungen, Ortsnetztransformatoren	A	0,25 0,30 – 0,19	0,58 0,60 – 0,56	0,06 0,09 – 0,04	0,34 0,36 – 0,31	0,99 ✳	0,83 0,86 – 0,80	0,99 ✳	0,70 0,70 – 0,69
	B	0,30 0,40 – 0,21	0,57 0,59 – 0,55	0,09 0,16 – 0,04	0,32 0,35 – 0,30	0,95 0,96 – 0,94	0,84 0,86 – 0,81	0,95 0,96 – 0,93	0,68 0,70 – 0,66
	C	0,90 0,97 – 0,81	0,90 1,00 – 0,83	0,81 0,94 – 0,66	0,81 1,00 – 0,69	0,98 1,00 – 0,96	0,93 0,96 – 0,90	0,98 1,00 – 0,96	0,87 0,92 – 0,78
	D1, D2	0,75 0,88 – 0,66	0,83 0,92 – 0,73	0,56 0,77 – 0,44	0,69 0,85 – 0,53	0,97 0,98 – 0,96	0,94 0,97 – 0,87	0,97 0,98 – 0,96	0,90 0,92 – 0,86
MS-Leitungen, 110 kV/MS-Transformatoren		1,00 ✳	1,00 ✳	1,00 ✳	1,00 ✳	0,96 0,98 – 0,94	0,96 0,98 – 0,94	0,99 0,99 – 0,98	0,95 0,97 – 0,94

Versorgungsgebiete A bis D nach Tafel 1 oder Bild 2; $\bar{x}$ und R siehe Tafel 1;
✳ Streuungen um den Mittelwert in nennenswertem Maße sind nicht aufgetreten
[1]) Messungen erfolgten auf der Unterspannungsseite der Transformatoren
[2]) Intervallnummern in Klammern

nannt. Weitere Anwendungsmöglichkeiten der Lastabschätzung ergeben sich u.a. bei der Suche zweckmäßiger Zeiträume für Instandhaltungsarbeiten und Betriebsmessungen sowie bei störungsbedingten Umschaltungen.

— Die niedrigen Gleichzeitigkeitsfaktoren $g \approx g_P$ für Neubaugebiete (Tafel 2) weisen deutlich darauf hin, daß eine Addition ihrer Höchstlast zur bisher vorhandenen Höchstlast des MS-Netzes und der 110 kV-MS-Transformatoren nicht gerechtfertigt ist. Es ist vielmehr nur ein Höchstlastanteil nicht über der 0,3- bzw. 0,4fachen Höchstlast (gemäß den oberen Werten der Spannweite) zu berücksichtigen. Das gilt allerdings nicht für solche MS-Kabel, die überwiegend der Versorgung von Neubaugebieten dienen.

— Die Überlappungsfaktoren $\ddot{u} \approx \ddot{u}_P$ weichen bei Neubaugebieten im Vergleich zu allen anderen Versorgungsgebieten weit nach unten ab (Tafel 2). Dadurch liegen in diesen Gebieten die wirtschaftlichen Einsatzgrenzen für Betriebsmittel, z.B. für Ortsnetztransformatoren bestimmter Nennleistung ([8], Abschn. 8.4.3.), höher als in den Vergleichsgebieten.

— Die Leistungsfaktoren sind in den meisten Fällen besser, als bisher weithin angenommen wurde. Aus den Leistungsfaktoren im Intervall der Wirkhöchstlast (Tabelle 2), die für Bemessungsfragen maßgebend sind, folgt u.a.:

- In NS-Netzen im Versorgungsgebiet A (Neubaugebiete ohne Gas, entspricht Elektroenergieanwendung für A + S und A + S + W nach [12]) kann mit $\cos \varphi = 1{,}00$ statt mit $\cos \varphi = 0{,}95$ gerechnet werden, wodurch sich die Anzahl der an ein NS-Kabel anschließbaren Wohnungen gegenüber ([12], Tafel 3) um etwa 7 % erhöht, was analog auch für die Ortsnetztransformatoren gilt.
- Für NS-Freileitungen, die vor allem in den Versorgungsgebieten D1 und D2 vorkommen, kann der Spannungsfall mit $\cos \varphi = 0{,}95$ statt mit dem in [15] zugrunde gelegten Wert von $\cos \varphi = 0{,}80$ berechnet werden.
- In MS-Netzen ist für die Ermittlung des Höchststromes aus der Höchstwirklast sowie für die Bestimmung des Spannungsfalls $\cos \varphi = 0{,}95$ statt, wie bisher verbreitet üblich, $\cos \varphi = 0{,}90$ anzusetzen.

Weitere Einzelheiten zu den speziellen Anwendungen sind in [3] enthalten.

Abschließend soll ergänzend zu den speziellen Anwendungen vermerkt werden, daß die gesamte in den Abschnitten 1. und 2. angegebene Datenbasis das Fundament verbessert, auf dem Modell- und Realnetzoptimierungen und damit auch Planungsempfehlungen ([8], Abschn. 2.2.3.) aufgebaut werden. Die Angabe von Spannweiten und ihre mögliche Verarbeitung bei der Optimierung [1] [8], Abschn. 7.7.) trägt dazu mit bei. Für Untersuchungen mit dem Ziel, Empfehlungen für eine optimale Blindleistungskompensation in NS- und MS-Netzen abzuleiten, liegt wohl sogar erstmalig eine reale Datenbasis zum Istzustand vor. Bisherige Untersuchungen waren meist nur auf Schätzungen oder mittlere Leistungsfaktoren (Abschn. 1.4.) angewiesen.

3. Zeitliche Entwicklung der Ganglinien und ihrer Paramter

Bisher wurde stillschweigend angenommen, daß sich die bezogenen Ganglinien und ihre Parameterwerte auch langfristig (in der Hierarchieebene Jhgl nach [1]) nicht nennenswert ändern.

Eine Überprüfung, ob der bisherige Trend eine solche Annahme rechtfertigt, kann nur mit den Benutzungsfaktoren der Wirkhöchstleistung erfolgen, weil lediglich dafür einiges Datenmaterial verfügbar ist. Daraus ergibt sich, daß im Zeitraum von 1955 bis 1965 keine Zeitabhängigkeit der Mittelwerte der Benuztungsfaktoren erkennbar war [7]. Für den Zeitraum danach liegen in Unterlagen des VEB Energiekombinat Dresden Benutzungsfaktoren für 110-kV/MS-Transformatoren vor, die gleiches ausweisen.

Insgesamt erscheint es gerechtfertigt, auch für langfristige Planungsaufgaben von zeitunabhängigen bezogenen Ganglinien und Ganglinienparametern auszugehen, die Richtigkeit dieser Annahme aber bei zukünftigen Datenerfassungen und -auswertungen stets mit zu überprüfen. Diese Überprüfung ist vor allem dann erforderlich, wenn die Laststeuerung wesentlichen Einfluß gewinnt [8], S. 222, [16].

4. Zusammenfassung

Es wird eine Datenbasis für die in [1] vorgeschlagenen statistisch gestützten Belastungsmodelle angegeben, die den Belastungsverlauf innerhalb eines Jahres beschreiben. Die Datenbasis besteht im einzelnen aus bezogenen Tages-, Wochen- und Jahresganglinien für die Wirklast, die Blindlast und den Leistungsfaktor sowie Ganglinienparametern für typische Versorgungsgebiete. Die gemessenen Wertebereiche für die Parameter werden durch die arithmetischen Mittelwerte und die Spannweiten beschrieben. Auf Anwendungen der Modelle und der Datenbasis bei Planung und Betrieb der Netze wird hingewiesen. Die Datenbaisis stammt aus dem Bericht [3], der noch weitere Informationen und Interpretationen enthält.

Literatur

[1] *Bochanky, L.:* Belastungsmodelle für öffentliche Verteilungsnetze. ELEKTRIE, Berlin 42, (1988) 11

[2] *Hauschild, W.; Mosch, W.:* Statistik für Elektrotechniker. Eine Darstellung an Beispielen aus der Hochspannungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1984

[3] Belastungsgänge in öffentlichen Nieder- und Mittelspannungsnetzen und Konsequenzen für Netzplanung und -betrieb. VEB Energiekombinat Dresden, Bericht Nr. 51-221-(1986) BE (Abschlußbericht zur NVe Nr. 9325/85, NL Nr. 9023/86)

[4] TGL 200-0612/03: Kabel in elektrotechnischen Anlagen; Starkstromkabel; Bemessung, Schutz. Ausg. Februar 1985

[5] TGL 190-167/05: Transformatoren und Drosseln; Belastbarkeit von Drehstromtransformatoren mit Oberspannung über 1 kV. Entwurf Juli 1987

[6] *Meyer, A.:* Zur Frage der thermischen Belastbarkeit in Niederspannungsnetzen. Dissertation, RWTH Aachen, 1982

[7] *Wagner, R.:* Ermittlung von Jahresbenutzungsstunden der elektrischen Höchstlast. Institut für Energetik Leipzig, Mitteilungen (1968) 99, S. 622–630

[8] *Bochanky, L.:* Planung öffentlicher Elektroenergieverteilungsnetze. Gestaltung, Bemessung, Betriebsweise, Netzrückwirkungen. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1985

[9] *Nicht, J.:* Lastabhängiger Zusatz zur Umschaltautomatik. Der Elektropraktiker, Berlin 40 (1986) 3, S. 94 und 95

[10] *Wolf, M.; Junge, H.:* Enzyklopädie der Energiewirtschaft. Zweiter Band – Belastungskurven und Dauerlinien in der elektrischen Energiewirtschaft. Berlin, Göttingen, Heidelberg; Springer-Verlag 1959

[11] *Zebisch, M.:* Netzverluste. Ursachen und Ermittlung. Berlin: VEB Verlag Technik 1959

[12] TGL 190-240/05: Anschluß von Starkstrom-Abnehmeranlagen an die Versorgungsanlage des Energieversorgungsbetriebes; Bemessung des Anschlusses von Wohngebäuden mit Kabel. Ausg. September 1986

[13] *Wagner, L.-D.; Nitschke, P.; Linde, F.:* Entwicklungstendenzen des Elektroenergiebedarfs der Bevölkerung und Schlußfolgerungen für die Forschung. Energietechnik, Leipzig 30 (1980) 7, S. 276–279

[14] *Düwall, P.; Lange-Hüsken, M.; Zybell, G.:* Lastganglinien der Haushalte. Elektrizitätswirtschaft, Frankfurt (Main) 84 (1985) 25, S. 1051–1064

[15] TGL 190-614/21: Starkstrom-Freileitungen; Bauweise für Nennspannungen bis 1000 V; Berechnung. Ausg. Januar 1980

[16] *Schnell, P.; Meyer, A.:* Möglichkeiten und Grenzen des Lastmanagements. Technische und tarifliche Maßnahmen. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 37 (1987) 6, S. 496–502

EA 5792

Supraleitende Folien

Im Wettlauf um patentierte Werkstoffe mit supraleitenden Eigenschaften um 70 bis 90 K zeichnet sich ein Kopf-an-Kopf-Rennen zwischen führenden Forschungsinstituten ab. Das liegt daran, daß für eine Reihe von Anwendungen keine sehr hohen Stromdichten erforderlich sind. Dazu zählen z.B. empfindliche magnetische Sensoren, spezielle Computerschaltungen, die mit Josephson-Übergängen arbeiten, oder auch leistungsfähige Solarzellen zum Einsatz in Satelliten. Ein Forschungsinstitut in Kalifornien hat dazu eine Herstellungstechnologie entwickelt, mit der alle Arten von Metalloxiden, auch die der neuen supraleitenden Keramik-Mischungen, in dünnschichtigen filmartigen Folien hergestellt werden können. Wissenschaftler eines Forschungszentrums, die gerade mit dieser Technik mikrometerdünne Schichten in Breiten von wenigen Millimetern hergestellt haben, stellten dabei Stromdichten um 1000 A/mm fest. Außerdem ist der bei Supraleitung fließende Strom von einer Richtungsorientierung des kristallinen Films abhängig. Er kann nach ersten Beobachtungen dann sogar in einer Richtung etwa 30mal „besser" fließen.

IBWT/EL EA 2894

CAD-System für supraleitende Bauteile

Ein CAD-System zur Konstruktion von integrierten Schaltkreisen mit supraleitenden Bauteilen wurde in Japan entwickelt. Im Vergleich zu herkömmlichen Methoden soll mit dem neuen Verfahren nur noch ein Zehntel der Zeit oder des personellen Aufwands benötigt werden. Das neue System wurde mit der Perspektive entwickelt, daß die Verwendung integrierter Schaltkreise mit supraleitenden Bauteilen wie dem Josephson-Baustein in den neunziger Jahren zunehmen wird.

IBWT/EL EA 2898

Korrosionseigenschaften und Kontaktwiderstand von AuAgNi-Werkstoffen für ungeschützte Relaiskontakte

G. Bär, KDT, Freiberg; E. Kaiser, KDT, Berlin;
U. Rößiger, Freiberg; H. Weist, KDT, Lutherstadt Wittenberg

Verwendete Abkürzungen, Formelzeichen und Indizes

A, T, Z	Anschlußbezeichnungen der Wechslerkontakte des Gepolten Relais A
Bl	Blech
C	Schaltkreiskapazität
Dr	Draht
E	Meßkreis-Urspannung
$E(q)$	Erwartungswert der NKZ
FK	Kontaktkraft
I	Meßstrom
KB	Kontaktbimetall
L	Schaltkreisinduktivität
N	Anzahl der Prüfungen unter identischen Bedingungen
NKZ	Niveaukennzahl
$P(\ )$	Wahrscheinlichkeit des Ereignisses in ( )
QEB	Qualimetrische Eigenschaftsbewertung
RD	Kontaktdurchgangswiderstand bei Relais
RK	Kontaktwiderstand an Werkstoffproben
S	Ergebnissumme
S_i	Teil-Ergebnissumme für die i-te Prüfparameterkombination
d.c.	Gleichstrom, -spannung (direct current)
eepl	einseitig einlageplattiert
efpl	einseitig flächenplattiert
f	Überschreitungswahrscheinlichkeit
i	Index „Prüfparameterkombination"
j	Index „Widerstandsschranke"
m	Anzahl der Prüfparameterkombinationen
n	Anzahl der Widerstandsschranken
q	Niveaukennzahl NKZ
$\overline{q}$	mittlere NKZ
$\hat{q}$	Vertrauensgrenze der NKZ bei einseitiger Intervallschätzung
q_u, q_o	untere und obere Vertrauensgrenze der NKZ bei zweiseitiger Intervallschätzung
r	Wert des Kontakt- oder Kontaktdurchgangswiderstands
r_j'	j-te Widerstandsschranke (Bewertungsmerkmal)
s^+, s^-	Extremal-Ergebnissumme
sq	Standardabweichung der NKZ
$t_{N-1;0,9}$	Quantil der t-Verteilung mit N-1 Freiheitsgraden der Ordnung 0,9
v	Prüfparameterkombination
w	Wichtungskoeffizient

1. Zielstellung

Entgegen früheren Prognosen haben Elektronik, Mikroelektronik und Digitalisierung Relais der Informationselektronik einen eigenständigen Platz mit anderen und teilweise höheren Gebrauchswertforderungen gegenüber den Schaltgeräten der „klassischen" Schwachstromtechnik zugeordnet. Das hat konstruktive Konsequenzen und erfordert ein Umdenken bei Auswahl und Anwendung von Kontaktwerkstoffen. Aus technischen Gründen werden die Werkstoffe für ungeschützte (offene) Schaltkontakte der Informations-/Schwachstromtechnik auch in Zukunft ihren relativ hohen Edelmetallanteil behalten müssen. Hieraus resultieren weltweit Bemühungen, den spezifischen Edelmetalleinsatz für Abhebekontakte zu reduzieren. Dabei kommen einer möglichst weitgehenden, jedoch technisch stets vertretbaren Edelmetallsubstitution und einer konsequenten Einsatzoptimierung von Kontaktwerkstoffen besondere Bedeutung zu.

Für offene Relaiskontakte in „trockenen" Schaltkreisen und für geringe bis mittlere Belastungspegel (dry-circuit contacts, low level contacts, intermediate level) werden international neben den hochkarätigen Kontaktwerkstoffen AuNi5 und AuCo5 unter anderem

— binäre Gold-Silber-Legierungen (AuAg6 · · · 40)
— ternäre Gold-Silber-Legierungen mit Kupfer oder Nickel (AuAg20 · · · 25Cu5 · · · 10, AuAg17 · · · 26Ni3)
— Gold-Palladium-Silber-Mehrstofflegierungen
— galvanisch aufgebrachte kobalt- oder nickelgehärtete Goldschichten

eingesetzt. In der DDR stehen

— die Standardlegierungen AuAg17Ni und AuNi5 TGL 12736
— hartvergoldete Schaltstücke aus unterschiedlichen Werkstoffen mit Au-Schichtdicken bis 10 µm sowie
— für Sonderanwendungen AuAg40 und AuAg20

zur Verfügung [1] [2]. Niederkarätige AuPdAg-Legierungen sind im Entwicklungsstadium [3] [4].

In Fortführung früherer experimenteller und theoretischer Arbeiten zur Korrosionsbeständigkeit von Goldbasislegierungen [3] bis [8] wurden an AuAg17Ni, AuNi5, AuPdAgSn- und AuAgNi-Werkstoffen Umgebungs- und Betriebsuntersuchungen, RK- und RD-Messungen unter Anwendung der qualimetrischen Eigenschaftsbewertung [9] durchgeführt. Die Untersuchungen haben das Ziel, die Anwendung von AuAg17Ni als Substitut für AuNi5 zu fördern und mit der Bereitstellung applikationsorientierter Werkstoffdaten zur Korrosionsbeständigkeit einen Vorlauf für den künftigen Einsatz goldsparender Kontaktwerkstoffe zu schaffen [4] [8]. Im vorliegenden Aufsatz werden die Prüfergebnisse von AuAg17Ni, AuAgNi-Werkstoffen und AuNi5 mitgeteilt.

2. Prüfprogramm

Die Werkstoffprüfungen umfaßten nach Tafel 1

— H_2S-1-Komponenten-Beanspruchung niedriger Konzentration (Ky)
— H_2S-1-Komponenten-Beanspruchung mittlerer Konzentration (Kd)
— SO_2-1-Komponenten-Beanspruchung (Kx)
— SO_2/H_2S-2-Komponenten-Beanspruchung (Ki)
— Beanspruchung mit Salznebel unter zyklisch wechselnden Bedingungen (Kb)

am Werkstoff- und Halbzeugsortiment nach Tafel 3. Prüfbedingungen und Ergebnisse der Salznebelbeanspruchung sind in [4] angegeben.

Die Relaisprüfungen umfaßten nach Tafel 2

— den Nachweis der mechanischen Lebensdauer (mech LD)
— den Nachweis der Schaltstücklebensdauer und des Schaltvermögens unter elektrischer Belastung (el LD)
— eine Klimaprüfung (Klima)

nach dem Musterprüfprogramm für Gepolte Relais A, TGL 6625 sowie

— Einsatzuntersuchungen (DP)

unter Betriebsbedingungen in einem Amt der Deutschen Post der DDR mit Schaltgeräten nach Tafel 3.

3. Bewertung des Korrosionsverhaltens

Die qualimetrische Eigenschaftsbewertung ist in allgemeiner Form in [9] und für die vorliegende Aufgabenstellung im Bild 1 dargestellt.

Die QEB „Korrosionsbeständigkeit" baut auf den Überschreitungswahrscheinlichkeiten f_{ij} von 5 RK-/RD-Schranken r_j' (Bewertungsmerkmale) auf, die aus der r-Verteilung jeder Prüfparameterkombination v_i (Umgebungsbeanspruchung + Beanspruchungsdauer + Kontaktkraft bei der RK-Messung) berechnet werden

Dr.-Ing. *Gerd Bär* ist Gruppenleiter und Chem .Ing. *Uta Rößiger* Ingenieur für F/E in der Haupttechnologie Werkstoffe und Verarbeitung des VEB Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk", Freiberg; Hauptrat Dipl.-Ing. *Ernst Kaiser* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Post- und Fernmeldewesen, Berlin; Dipl.-Ing. *Hartmut Weist* ist TKO-Leiter im Betrieb Lutherstadt Wittenberg des VEB Robotron-Rationalisierung Weimar.

Die Autoren bedanken sich bei Frau *I. Große*, VEB Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk", für die Durchführung der umfangreichen Kontaktwiderstandsmessungen und bei Herrn Dipl.-Kristallograph *U. Hahn*, Berlin, für die Betreuung der Einsatzuntersuchungen.

Tafel 1. Werkstoffprüfungen

Umgebungsbeanspruchung	2053.2 TGL 9209/03	2053.1 TGL 9209/03	Variante 1 TGL 9209/05	Variante 5 TGL 9209/02	2051.2 TGL 9209/01
Kurzbezeichnung	Ky	Kd	Ki	Kx	Kb
Relative Luftfeuchte %	75 ± 3			82 ± 3	
Lufttemperatur + °C	25 ± 2			40 ± 2	
Schadstoffkonzentration ppm SO_2 H_2S	 – 1 ± 0,3	 – 10 ··· 15	 3,5 ± 0,5 0,5 ··· 1	 3,5 ± 0,5	Salznebel-beanspruchung, siehe [4]
Schadstoffdosierung	kontinuierlich				
Beanspruchungsdauer	4; 10; 21; 56 d	1; 3; 6; 10; 21 d	4; 10; 21; 56 d	7 d	
Prüflinge	Werkstoffproben nach Tafel 3				
RK-Messung	vor (Anfangsmessung) und nach Beanspruchungsdauer unter Standard-Meßbedingungen nach TGL 9203/01 und TGL 24961/02 – gegen unkorrodierte AuNi5-Referenzelektroden – an 100 diskreten Proben-Oberflächenbereichen je Werkstoff und Kontaktkraft – bei max. 5 Kontaktkräften FK = 0,1 ··· 1,5 N gestuft ($m \leqq 5$). Strom-Spannungs-Vierpunkt-Meßschaltung mit spannungsrichtiger Messung – nach der Millivoltmethode (E = 20 mV d.c., $I \leqq 10$ mA), – stromloses Aufsetzen und Abheben der Referenzelektrode ohne Reib- und/oder Rollbewegung auf der Probe, – Polaritätswechsel des Meßstroms bei aufgesetzter Referenzelektrode.				

Die Kurzbezeichnungen der Umgebungsbeanspruchungen sind BHK-interne Codes und entsprechen nicht in jedem Fall den Bezeichnungen nach TGL oder IEC).

Tafel 2. Relaisprüfungen

Prüfung	nach Musterprüfprogramm			Einsatzuntersuchung
Prüflinge	Gepoltes Relais A3g/18 TGL 6625 AuAg17Ni-Pl und AuNi5-Pl nach Tafel 3			
Kurzbezeichnung	mech LD	el LD	Klima	DP
Klimabeanspruchung; Prüfdauer	– Standard-Meßbedingungen nach TGL 9203/01 und TGL 24961/02; – $5 \cdot 10^7$ Schaltungen bei Erregung 40 AW Sinus, 50 Hz, – Schalthäufigkeit 50 Schaltungen je Sekunde		24 h trockene Wärme + 50 °C danach 21 d feuchte Wärme + (40 ± 2) °C, (93 ± 2) % (Methode 2031.1/Prüfung Ca TGL 9206/01) danach 2 h niedrige Temperatur – (10 ± 3) °C (Verfahren 2011.2-Ab TGL 9204)	Amtsbedingungen (Raum Berlin); 145 d entsprechend $3{,}8 \cdot 10^7$ Schaltungen
Kontaktbelastung	–	60 V d.c., 100 mA technisch *L*- und *C*-frei (Belastung *C* nach TGL 24961/01)	–	entsprechend Betriebsbedingungen im Amt
RD-Messung	vor, zu festgelegten Zeitpunkten während und nach der Prüfdauer			

[Bild 1a)]. Die Anzahl m der Parameterkombinationen einer Korrosionsprüfung bestimmter Dauer entspricht der Anzahl der FK, unter denen RK gemessen wird ($m \leqq 5$ bei Werkstoffuntersuchungen, Tafel 1; $m = 1$ bei Relais). Die Prüfergebnisse f_{ij} werden schrankenproportional nach r_j' und konstant nach v_i gewichtet [Bilder 1b) und 1c)]. Die NKZ q ergibt sich dann aus der Ergebnissumme S und den Extremalsummen $s^+ = 0$; $s^- = 1$ nach Bild 1d) und ermöglicht die Relativbewertung der Werkstoffe hinsichtlich ihres Korrosionsverhaltens in folgender Weise:

$q = 0$ alle RK, RD sind < 10 mΩ, d.h. $P\,(RK; RD < 10\ \text{m}\Omega) = 1$, ein korrosiver Angriff ist nicht nachweisbar

$0 < q < 1$ die Lage des aktuellen q-Wertes ist abhängig von der Korrosionsfestigkeit des Werkstoffs; die NKZ kennzeichnet das relative Widerstandsniveau zwischen 10 und 1000 mΩ mit dem Trend, je größer q, desto höher das RK-/RD-Niveau, um so geringer die Korrosionsbeständigkeit

Tafel 3. Geprüfte Materialien und Relais

Halbzeug, Abmessung, Werkstoff; Schaltgerät	Prüfung
Bl 0,5 × 8 × 30 TGL 12736 AuAg17Ni, AuNi5	Ky, Ki, Kb
Dr 0,9 TGL 12736 AuAg17Ni, AuAg22Ni3, AuAg26Ni3, AuNi5	Kd, Kx
KB eepl Bl 0,6 × 40/0,02 × 23 TGL 12737 AuAg17Ni/E-Cu99,9 ohne Ni-Zwischenschicht	Ky, Ki, Kb
KB efpl Bl 0,6 × 40/0,02 TGL 12737 AuNi5/E-Cu99,9 ohne Ni-Zwischenschicht	
Gepoltes Relais A3g/18 TGL 6625 ···-Pl AuAg17Ni, AuNi5	mech LD, el LD, Klima, DP

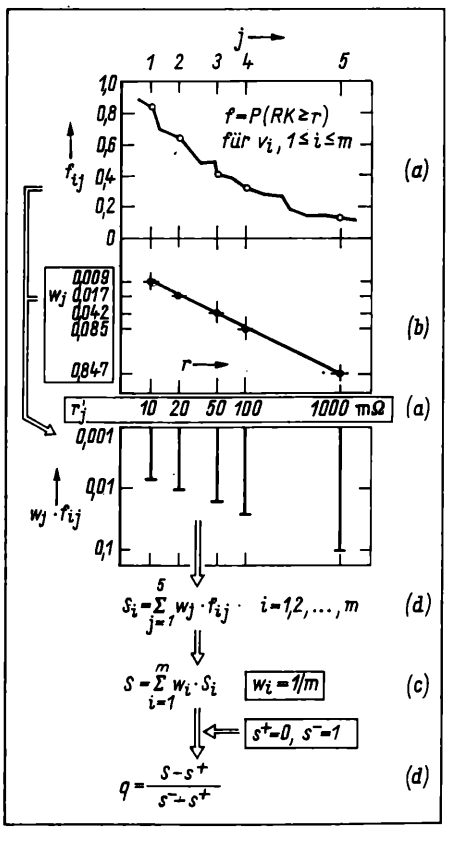


Bild 1
Qualimetrische Eigenschaftsbewertung: Prüfergebnisse, Wichtung, Berechnung der Niveaukennzahl (vorgegebene Größen und Werte sind eingerahmt)

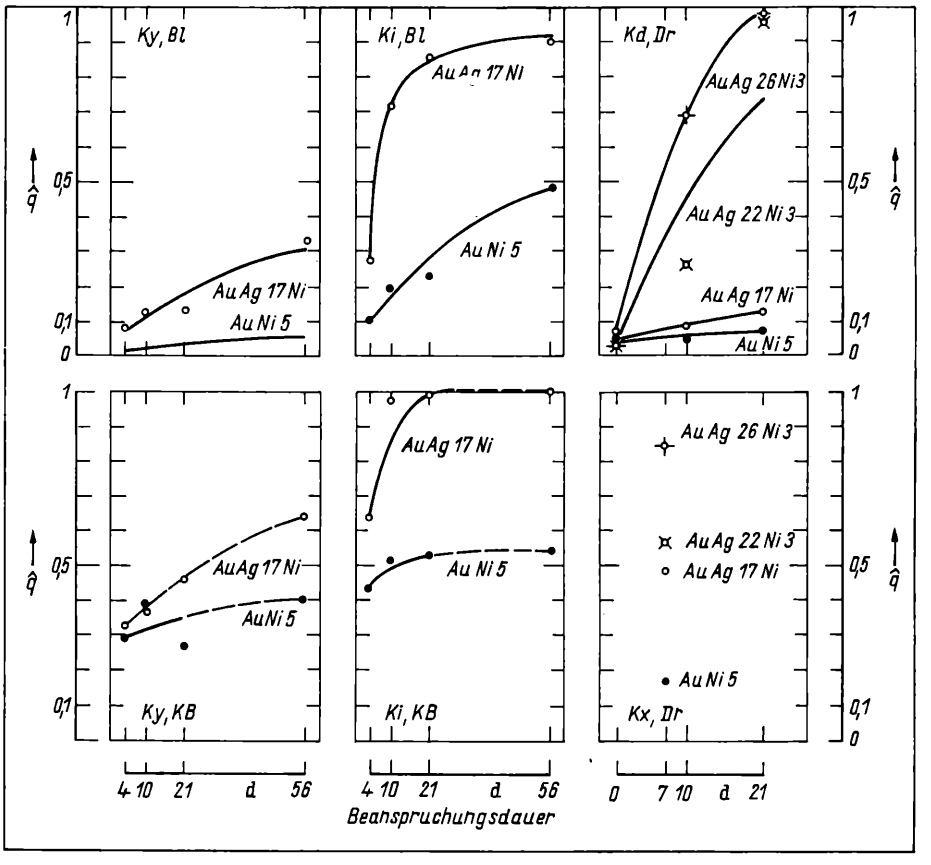


Bild 2. Ergebnisse der Werkstoffprüfungen

$q = 1$ kennzeichnet das im Bewertungsfeld nachweisbare schlechteste Verhalten; alle RK, RD sind $\geqq 1\ \Omega$, d.h. $P(RK; RD \geqq 1\ \Omega) = 1$.

(In [4] wurde eine um den Faktor 10 gespreizte q-Skale verwendet.) Aus den Ergebnissen mehrerer gleichartiger Schadstoffprüfungen ($N \leqq 7$) wurde die Wahrscheinlichkeit

$$P\left(0 < E(q) < \hat{q} = \bar{q} + \frac{s\,q}{\sqrt{N}} \cdot t_{N-1:0,9}\right) = 0{,}9 \qquad (1)$$

berechnet und zur Werkstoffbewertung die einseitige Vertrauensgrenze $\hat{q}$ herangezogen (Bild 2). (Aus diesem Grunde sind — unter Beachtung des Faktors 10 — die NKZ $\hat{q}$ im Bild 2 generell größer als die NKZ in [4].)

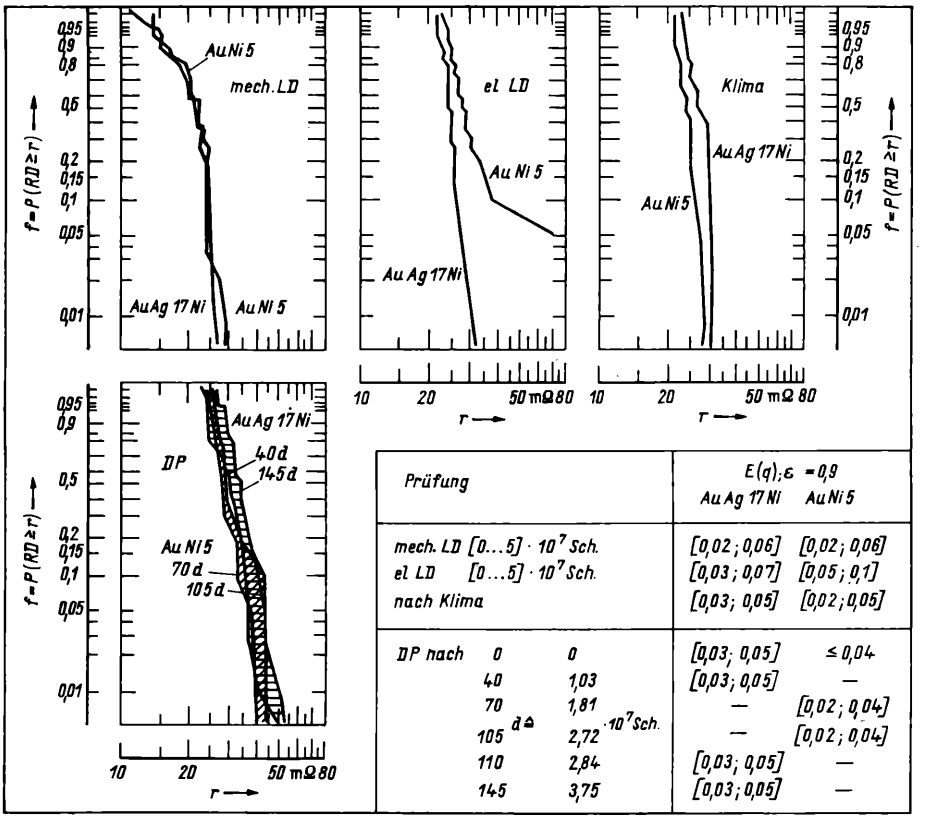
Die Auswertung der Relaisprüfungen erfolgt an Hand des zweiseitigen 90-%-Vertrauensintervalls

$$P(E(q) \in [q_u, q_o]) = 0{,}9, \qquad (2)$$

das aus RD von AT und AZ berechnet wurde. Zusätzlich werden noch die Verteilungskurven

$$f = P(RD \geqq r) \qquad (3)$$

angegeben (Bild 3).



Prüfung		E(q); ε = 0,9 AuAg 17 Ni	AuNi 5
mech. LD [0...5] · 10^7 Sch.		[0,02; 0,06]	[0,02; 0,06]
el LD [0...5] · 10^7 Sch.		[0,03; 0,07]	[0,05; 0,1]
nach Klima		[0,03; 0,05]	[0,02; 0,05]
DP nach	0	[0,03; 0,05]	≤ 0,04
	40	[0,03; 0,05]	—
	70	—	[0,02; 0,04]
	105 d▲	—	[0,02; 0,04]
	110 · 10^7 Sch.	[0,03; 0,05]	—
	145	[0,03; 0,05]	—

Bild 3. Ergebnisse der Relaisprüfungen

4. Ergebnisse

4.1. Werkstoffprüfungen (Bild 2)

H_2S-Atmosphären mit kleiner (Ky) und mittlerer Schadgaskonzentration (Kd) greifen AuAg17Ni relativ wenig ($q = 0{,}1 \cdots 0{,}3$) und AuNi5 ($q < 0{,}1$) kaum an. Auf niedrigem *RK*-Niveau sind degressiv steigende q-Verläufe charakteristisch: Der Schichtbildungsprozeß kommt offenbar nach 20 bis 50 d zum Stillstand. Danach ist auf Grund bisheriger Einsatzerfahrungen auch bei AuAg17Ni keine weitere *RK*-Erhöhung zu erwarten.
SO_2/H_2S-Mischbeanspruchung (Ki) bewirkt an AuAg17Ni und AuNi5 rapide Widerstandsanstiege, die auf den für beide Au-Werkstoffe sehr hohen Niveaus $q \geqq 0{,}9$ bzw. $\geqq 0{,}5$ enden.
Die Anfälligkeit der AuAgNi-Werkstoffe gegen H_2S (Kd), SO_2 (Kx) sowie gegen SO_2-H_2S-Gemische [10] bis [13] nimmt mit steigendem Ag-Gehalt von AuAg17Ni mit 3 Masse-% Ni zu AuAg26Ni3 progressiv zu. Nach 21 d Kd beträgt der Unterschied der q-Werte fast 0,9. AuAg22Ni3 zeigt ein gewisses „Übergangsverhalten". Diese Befunde korrelieren nicht in jedem Fall mit den Ergebnissen anderer Autoren. So weisen [10] [12] [13] an AuAg26Ni3 nach Korrosionsbeanspruchung zum Teil niedrigere 50-%-RK-Werte (Mediane) aus, als für die zum Vergleich herangezogenen AuPdAg-Legierungen Hera 277 und 277 S (Firmenbezeichnungen). Für eine objektive Werkstoffbeurteilung unbedingt notwendige Quantile höherer Ordnung [14] werden jedoch nicht publiziert. Sie gehen aber mittelbar über die 100- und 1000-mΩ-Überschreitungen in die QEB ein. Insofern vermitteln die NKZ ein genaueres Bild der SO_2- und H_2S-Beständigkeit der Werkstoffgruppe AuAgNi.
Die allgemein höheren *RK*-Niveaus der KB werden von Diffusionsvorgängen im Schichtverbund und durch vereinzelt vorhandene Schichtdefekte (Poren, Risse) verursacht. Trotzdem sind werkstoffbedingte Unterschiede in der Korrosionsbeständigkeit eindeutig sichtbar. Nach SO_2/H_2S-Mischtest (Ki) ist erwartungsgemäß das *RK*-Niveau von AuAg17Ni-KB sehr hoch. Es ist bemerkenswert, daß der korrosive Angriff des Gemischs auf AuAg17Ni mit 80 % Au viel stärker ist als auf niederkarätige, Pd-haltige Legierungen mit 40 und 50 % Au [4] [8].
Salznebel (Kb) hatte keinen meßbaren Einfluß auf die Au-Werkstoffe, $q < 0{,}05$ [4].

4.2. Relaisuntersuchungen (Bild 3)

Gemäß Musterprüfprogramm wurden neben *RD* Umschaltzeiten, Differenz dor Umschaltzeiten, allgemeine Verzerrung und Prellzeiten gemessen. Mit AuAg17Ni und AuNi5 bestückte Relais erwiesen sich bei der mechanischen und bei Klimabeanspruchung (mech LD, Klima) in allen Kontakt- und Zeitparametern als gleichwertig. Die kleinere Schadstoff-/Klimabeständigkeit des AuAg17Ni manifestiert sich in geringfügig größeren Widerstandsquantilen. Jedoch liegen alle RD-Werte zwischen 20 und 50 mΩ, so daß sich die „Parallelverschiebung" der f-Kurven für AuAg17Ni und AuNi5 nicht in der NKZ wiederspiegeln kann. Bei elektrischer Beanspruchung (el LD) hatte AuAg17Ni etwas besseres Verhalten als AuNi5. Die Betriebsuntersuchungen (DP) zeigen die Gleichwertigkeit der Schaltgeräte mit beiden Kontaktwerkstoffen in einem realen Einsatzfall. Es gab keine werkstoffbedingten Ausfälle.
Die Relaisuntersuchungen bestätigen frühere Prüfergebnisse an Gepolten Relais A4g/01 und A3s/28 und am Miniaturdrehschalter MDS TGL 32422 [5] bis [7]: Das Relaisverhalten und der Zustand der geschalteten Kontakte werden zwar durch unterschiedliche Werkstoffeigenschaften von AuAg17Ni und AuNi5 bis zu einem gewissen Grade beeinflußt; diese Unterschiede sind aber ohne Bedeutung für das Kontaktverhalten, sofern die Schadstoffbeanspruchung ein bestimmtes kritisches Maß nicht überschreitet. Insbesondere zeigte sich kein signifikanter Unterschied im mechanischen Verschleiß und in der elektrischen Erosionsfestigkeit bei ohmschen Lasten.

5. Applikationshinweise

— AuAgNi-Legierungen haben eine ausgeprägte selektive Empfindlichkeit gegen H_2S, SO_2 und SO_2/H_2S. Unter 1-Komponenten-Beanspruchung ist AuAg17Ni relativ korrosionsbeständig, neigt aber bei Mischbeanspruchung zu starker *RK*-Zunahme. Höher legierte AuAgNi-Werkstoffe sind offensichtlich gegen alle Prüfatmosphären anfällig.
— AuAg17Ni und AuNi5 sind invariant gegen Labor-Salznebelbeanspruchung.
— Prüfungen des Gepolten Relais A3g/18 mit AuAg17Ni und AuNi5 hatten im Rahmen des Untersuchungsprogramms Gleichwertigkeit im Kontaktverhalten unter Labor- und ausgewählten Betriebsbedingungen.

AuAg17Ni bestätigte sich erneut als geeigneter Relais-Kontaktwerkstoff für Belastungen $U \geqq 10$ V, $I \geqq 10$ mA und durchschnittlichen SO_2- und H_2S-Konzentrationen. Bei hohen Schadstoffbelastungen dürften allerdings Zuverlässigkeitsprobleme a priori nicht ausgeschlossen sein. wobei jedoch Schaltdynamik, Kontaktgabe, elektrische Belastung und weitere schaltgerätespezifische Einflüsse Kontaktwiderstandserhöhungen infolge Kontaktkorrosion reduzieren oder ganz verhindern können (elektrische oder mechanische Zerstörung von Oberflächenschichten, Frittung usw.).
Bei kleinen elektrischen Lasten und in trockenen Schaltkreisen (µV- und nA-Bereich) ist dem Werkstoff AuNi5 der Vorzug zu geben. Im Zwischengebiet (mV- und µA- bis mA-Bereich) sind die Einsatzmöglichkeiten für AuAg17Ni im konkreten Einsatzfall durch Schaltgeräte- und Bauelementeprüfungen unter Einschluß von Betriebsversuchen abzuklären.
AuAg22Ni3 und AuAg26Ni3 dürften keine brauchbaren Alternativen zu AuAg17Ni und AuNi5 sein. Korrosionsmäßig begründeter und gleichzeitig ökonomischer ist die Substitution beider Werkstoffe durch niederkarätige AuPdAg-Legierungen [4] [8]. Erfolgreich verlaufene Erprobungen von Au50PdAgSn in der Leuchtdrucktaste LDT TGL 26627 unterstreichen diese Einschätzung. Einer breiten Anwendung von AuPdAg stehen derzeit noch technologische Probleme entgegen, an der weiteren Optimierung des Au-Gehalts und des Masse-Verhältnisses Au/Pd/Ag wird gearbeitet.

Literatur

[1] Firmenschriften „Kontaktwerkstoffe", „Edelmetall-Halbzeug" und „Edelmetall-Schaltstücke" des VEB Bergbau- und Hüttenkombinates „Albert Funk" Freiberg, 1976/1977
[2] *Schiefner, M.:* Verzeichnis der Nichteisenmetalle der DDR. Stahlberatung, Freiberg 11 (1984) 2, S. 13–20
[3] *Rühlicke, D.*, u.a.: Werkstoff- und Kontakteigenschaften von Gold/Palladium/Silber-Legierungen. Tagungsberichte zur VII. Kontakttagung der DDR, Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt 1983, S. 62–66
[4] *Bär, G.*, u.a.: Das Korrosionsverhalten von Kontaktwerkstoffen der Schwachstromtechnik. Stahlberatung, Freiberg 13 (1986) 1, S. 9–14
[5] *Rühlicke, D.*, u.a.: AuAg17Ni — ein edelmetallsparender Kontaktwerkstoff der Schwachstromtechnik. Stahlberatung, Freiberg 3 (1976) 5, S. 3–7
[6] *Bär, G.*, u.a.: Applikationsuntersuchungen am Kontaktwerkstoff AuAg17Ni. Vortrag auf der V. Kontakttagung der DDR. Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt 1976
[7] *Bär, G.*, u.a.: Applikationsuntersuchungen am Kontaktwerkstoff AuAg17Ni. In: Elektrische Kontakte. Berlin: Akademie-Verlag 1980, S. 110–116
[8] *Bär, G.*, u.a.: Korrosionseigenschaften und Kontaktwiderstand von Goldwerkstoffen für ungeschützte Relaiskontakte. Stahlberatung, Freiberg 14 (1987) 2, S. 5–10
[9] *Bär, G.*, u.a.: Qualimetrische Eigenschaftsbewertung von Edelmetall-Kontaktwerkstoffen und -Halbzeugen für Schwachstromanwendungen. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987), S. 264–266 und 42 (1988) 7, S. 260–263
[10] *Harmsen, N.*, u.a.: Neue Kontaktwerkstoffe. ETZ-B, Berlin 28 (1976) 25, S. 902–906
[11] *Schnabl, R.*, u.a.: Korrosionsuntersuchungen an Kontaktmaterialien für Steckeranwendungen. ETZ-B, Berlin 28 (1976) 25, S. 905–910
[12] *Schiff, K.-L.*, u.a.: Untersuchung an Goldbasislegierungen für Steckeranwendung. Metall, Berlin 30 (1976) 7, S. 620–624
[13] *Bischoff, A.*, u.a.: A new economic and reliable contact alloy for connectors (Eine neue ökonomische und zuverlässige Kontaktlegierung für Steckverbinder). IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, New York CHMT-5 (1982) 1, S. 74–80
[14] *Bär, G.:* Informationen aus Kontaktwiderstands-Messungen. ELEKTRIE, Berlin 34 (1980) 5, S. 256–258

EA 5802

Fortschritte auf dem Gebiet der Supraleitfähigkeit

Japanische Wissenschaftler haben wichtige Fortschritte auf dem Gebiet supraleitfähiger keramischer Hochtemperaturstoffe erzielt. Mit Hilfe der neuen Erkenntnisse kann ohne Glühen eine gleichmäßige Schicht aus Yttrium-Barium-Kupferoxid-Dünnfilm hergestellt und verhindert werden, daß die Supraleitfähigkeit der Oberfläche vermindert wird. Unter Ausnutzung dieser beiden Vorzüge wurde eine experimentelle „Tunnelverbindung" hergestellt, die bei Kühlung mit flüssigem Helium den „supraleitenden Tunneleffekt" — ein Elektronenfluß über einen Isolator zwischen zwei Stücken aus supraleitfähigem Material — zeigte. Darüber hinaus wurde zum ersten Mal ein großer Spannungssprung beobachtet, eine Erscheinung, die für Schaltgeräte aus supraleitfähigem Material nützlich ist.

IBWT/EL

EA 2897

Elektrische Antriebe auf der Hannovermesse Industrie 1988

Die Produktion elektrischer Antriebstechnik in der BRD, die im Jahre 1987 einen Umfang von etwa 6,5 Mrd. DM erreichte, ist zu etwa 40 % für den Export bestimmt. Etwa ein Viertel des Eigenbedarfs wird dagegen importiert [1]. So ist es verständlich, daß auch ohne Veranstaltung der Fachmesse „Antreiben, Steuern, Bewegen" die elektrische Antriebstechnik sowohl seitens der BRD-Firmen als auch seitens der potentiellen ausländischen Lieferanten repräsentativ vertreten war. Allerdings konnte man gegenüber dem Jahr 1987 einen Rückgang der Aussteller von Frequenzumrichtern, dem derzeit immer noch interessantesten Produkt der elektrischen Antriebstechnik, von 94 auf 45 registrieren, ein Kennzeichen dafür, daß eine große Anzahl kleiner Unternehmen, die sich in den letzten Jahren auf dem Gebiet der Leistungselektronik etabliert haben, auf das nächste Jahr konzentrieren werden.

Insgesamt wies die Elektroindustrie der BRD im Jahre 1987 nur ein Produktionswachstum von 0,2 % auf, die elektrische Antriebstechnik lag über diesem Durchschnitt. Für das Jahr 1988 hält man eine Produktionssteigerung um 2 % für erreichbar, da der Auftragseingang für 1988 gestiegen ist und eine Festigung der inländischen Investitionsneigung erwartet wird [1].

Zur Zeit laufen Konzentrationsprozesse in der elektrotechnischen Industrie ab, sowohl in Form des Aufbaus von Kooperationsbeziehungen kleiner Unternehmen als auch in der Folge der Bildung des Elektrotechnik-Konzerns ASEA-BROWN-BOVERI. Die Hannovermesse 1989 wird sicherlich Merkmale einer kommerziellen wie technischen Neuordnung auf dem Gebiet der elektrischen Antriebstechnik zeigen.

Hinsichtlich der Entwicklungstendenzen, die sich aus dem Angebot der Erzeugnisse der elektrischen Antriebstechnik ergeben, sind zwei Erscheinungen hervorzuheben:

— der kontinuierlich steigende Anteil der drehzahlvariablen Drehstromantriebstechnik
— die angestrebte vollständige Digitalisierung der Steuer- und Regelprozesse.

Von einem Hersteller elektrischer Antriebstechnik wird zudem mehr und mehr erwartet, daß er ein Know-how auf dem jeweiligen Einsatzgebiet hat, das sich von sachgemäßer Auswahl der Systemkomponenten bis zum Angebot anwendungstypischer Systemlösungen äußern kann. Der spezialisierte Hersteller von Antriebskomponenten hat allein immer kleinere Marktchancen.

Die Tendenz zur drehzahlvariablen Drehstromantriebstechnik ist vom neugebildeten Fachverband Elektrische Antriebe des ZVEI der BRD eindrucksvoll durch Veröffentlichung entsprechender Statistiken belegt worden [2]. Wenn man die im Bild 1 für die Jahre 1986 und 1987 wiedergegebenen Ergebnisse extrapoliert, so ist schon 1988 ein relativer Anteil der Drehstromtechnik von 50 % zu erwarten. Das bedeutet technisch die Übernahme von Antriebsfunktionen, die bisher nur die Gleichstromtechnik realisieren konnte, und somit ganz speziell den universellen Einsatz digital arbeitender Regelverfahren wie der sogenannten feldorientierten Regelung von Asynchronmaschinen. Entsprechend hoch sind auch die Wachstumsraten der Produktion von Frequenzumrichtern in der BRD mit 19,4 % im Jahre 1987, obwohl die Wachstumsraten von Gleichstrommotoren über 0,375 kW (1987: 8,9 %) und Stromrichtertechnik (1987: 18 %) belegen, daß die Gleichstromantriebstechnik eine volle Existenzberechtigung und auch Entwicklungschancen hat.

Das Angebot von VEM-Erzeugnissen der elektrischen Antriebstechnik aus der DDR durch die VEM-Generalvertretung Wittenbecher & Co. trug den Anforderungen des BRD-Marktes voll Rechnung. Auf dem bewährten Grundstock des breiten und modifizierten Angebots von Antriebskomponenten des traditionellen Elektromaschinenbaus wurde die Antriebselektronik für die Drehstromtechnik aufgebaut. VEM-Frequenzumrichter bedecken zur Zeit den Leistungsbereich von 0,37 bis 90 kW Antriebsleistung in außerordentlich kleinen Typenleistungssprüngen.

Die Demonstration der drehzahlvariablen Drehstromtechnik durch Vorführung unterschiedlicher Drehzahlsteuer- und -regelregimes stand im Mittelpunkt der umfangreichen Ausstellung (Bild 2). Hinter dem Angebot der Frequenzumrichter stehen umfangreiche Entwicklungs- und Applikationskapazitäten, die unmittelbar auf dem BRD-Markt wirksam werden. Die bekannte und bewährte rechnergestützte Projektierung durch das Software-System VEM-prodrive wird die Marktaktivitäten weiterhin unterstützen.

Die ein Jahrhundert alte Tradition, die hinter den VEM-Erzeugnissen der elektrischen Antriebstechnik steht, wurde durch die Gegenüberstellung eines Gleichstrommotors der Firma Kummer aus dem Produktionsjahr 1891 und einem Typ der neuentwickelten D-Reihe von Gleichstrommaschinen herausgestellt (Bild 3).

Die Aktivitäten des DDR-Elektromaschinenbaus bei der Erschließung seiner Entwicklungsgeschichte haben schon jetzt, wie sich in Messegesprächen zeigte, einen großen Eindruck auf die internationale Fachwelt hinterlassen.

Das umfangreiche internationale Erzeugnisangebot läßt neben der Tendenz zur weitgehenden Digitalisierung einige Entwicklungsrichtungen der elektrischen Antriebstechnik in diesem Jahr stärker hervortreten. Sie sollen an einzelnen Exponaten beispielhaft belegt werden:

Die *Miniaturisierung* auf dem Gebiet der Leistungselektronik schreitet durch zunehmenden Einsatz anwendungsspezifischer Schaltkreise (ASIC), der Hybridtechnik und der Aufsetztechnik (SMD-Technik) weiter voran, vorausgesetzt, der Hersteller erreicht die dafür erforderlichen Gerätestückzahlen. Die Firma Reliance Electric kann in dieser Hinsicht bei mehreren Gerätetypen auf Fortschritte verweisen: Das mikroprozessorgesteuerte, hochdynamische Antriebssystem Vectrice C, das durch einen speziellen gehäuselosen Asynchronmotor RPM-AC und die feldorientierte Regelung gekennzeichnet ist, weist in der weiterentwickelten Form durch Zusammenfassung des Gleichrichter- und des Wechselrichterteils nur noch das halbe Frequenzumrichtervolumen auf. Das zugrunde liegende technische und ökonomische Konzept verfolgt bereits seit einigen Jahren das Ziel, die Gleichstromtechnik im Bereich bis derzeit 22 kW, in naher Zukunft bis 55 kW zu verdrängen (Bilder 4 und 5).

Weiterhin bemerkenswert bei Reliance ist die Ablösung von GTO durch konventionelle Thyristoren, die weitere Einführung der SMD-Technik und die Anwendung eines speziellen Reliance-ASIC, was sich sämtlich in der Neuentwicklung und der damit verbundenen Verkleinerung der Gerätegruppen

• VTI-Frequenzumrichter im Bereich 11

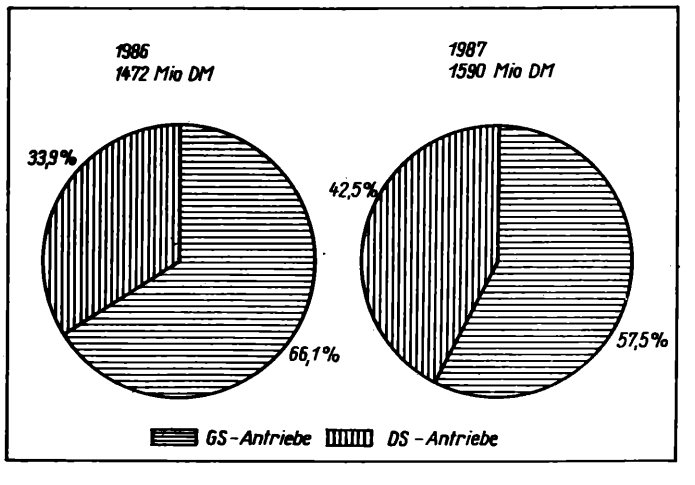


Bild 1
Veränderung des relativen Anteils der drehzahlvariablen Drehstromantriebstechnik in der BRD (ZVEI, BRD)
Quelle: StaBuA/ZVEI-FV1 (Oktober 1987)

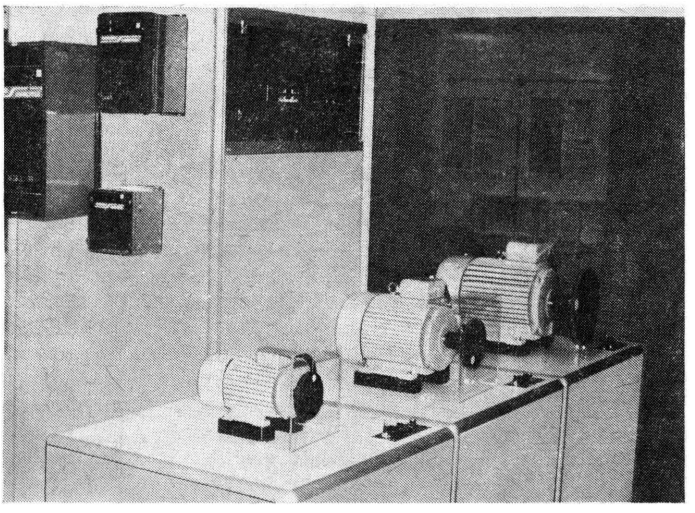


Bild 2. Demonstration des Angebots der VEM-Drehstromantriebstechnik durch die VEM-Generalvertretung Wittenbecher, BRD

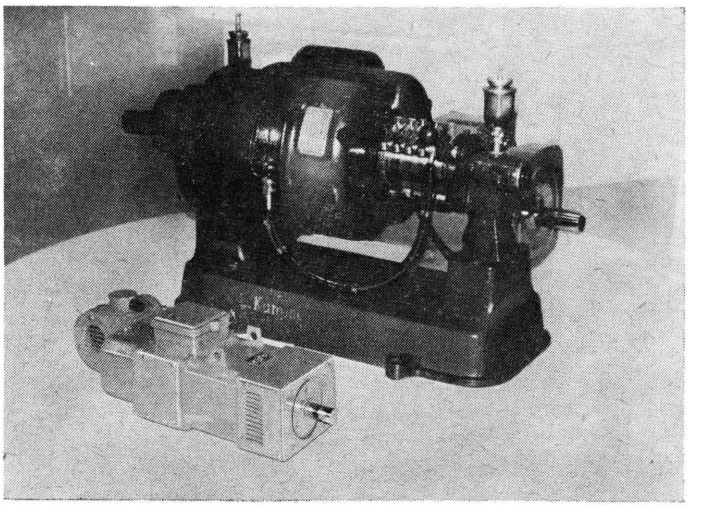


Bild 3. Tradition und Fortschritt des Elektromaschinenbaus der DDR

bis 30 kW mit einer Größenreduktion um 30 %
- CSI-S-I-Umrichter im Bereich 132 bis 900 kW mit einer Größenreduktion um 50 %

äußert.

Trotz der Zusatzausstattung Netzschutzdrossel, Netzschütz mit kompletter Einschaltsequenz, Einbaumöglichkeit für Netzsicherungen und Motor-Bi-Relais benötigt der INVERTRON VTI bei einer Motorleistung von 15 kW lediglich 320 mm × 535 mm × 355 mm (B × H × T).

Neu ist der anwendungsorientierte flexible Einsatz hybrider Schaltkreise für verschiedene Regel- und Steueraufgaben, wie

— Hochlaufgeber
— PI-Regler
— Stromregler
— Steuersätze

im Stromrichtergerät SIMOREG K der Firma Siemens AG (Bild 6). Sogenannte Technologie-Platinen dienen der Lösung des jeweiligen Antriebsproblems im Leistungsbereich bis etwa 70 kW.

Trotz aller Fortschritte hinsichtlich der Miniaturisierung der Elektronik hat sich der Drehstrom-Waschgeräteantrieb noch nicht durchgesetzt. Die bereits entwickelte Umrichtertechnik (siehe Hannover-Messebericht 1987) kann heute aus Effektivitätsgründen nur bei Spezialantrieben eingesetzt werden. Die Firma ATB Antriebstechnik G. Bauknecht AG kreiert solche Drehstromantriebe mit dem Slogan „Neue Kraft zwischen 0,1 und 1,1 kW" für einige anwendungsspezifische Lösungen, wie

— extrem geräuscharm
— für 15000 U/min
— mit PI-Regler
— Positionieren.

Die *digitale* Signalverarbeitung setzt sich weiter durch, am günstigsten parallel zur Einführung der Drehstromtechnik beim Antrieb. Typisch für die volle Nutzung dieses Konzepts ist ein volldigitaler Mehrmotoren-Drehstromantrieb für die Papierindustrie von der Firma ABB. Als bedeutendste Vorteile des digitalen Drehstromkonzepts werden genannt:

Durch die digitale Verarbeitungsform

— Programmänderung über Software ohne Produktionsstillstand
— zentrale Steuerung und Überwachung
— Diagnose über Telefon zum Herstellerwerk

und durch den Übergang zur Drehstromtechnik

— niedrige Betriebskosten
— kein Kühlluftsystem
— Blindleistungskompensation
— kleiner Instandhaltungsaufwand
— einfachere Ersatzmotorenhaltung.

Ein ähnliches Konzept verfolgt die Firma Voith mit ihrem volldigitalen Regelsystem

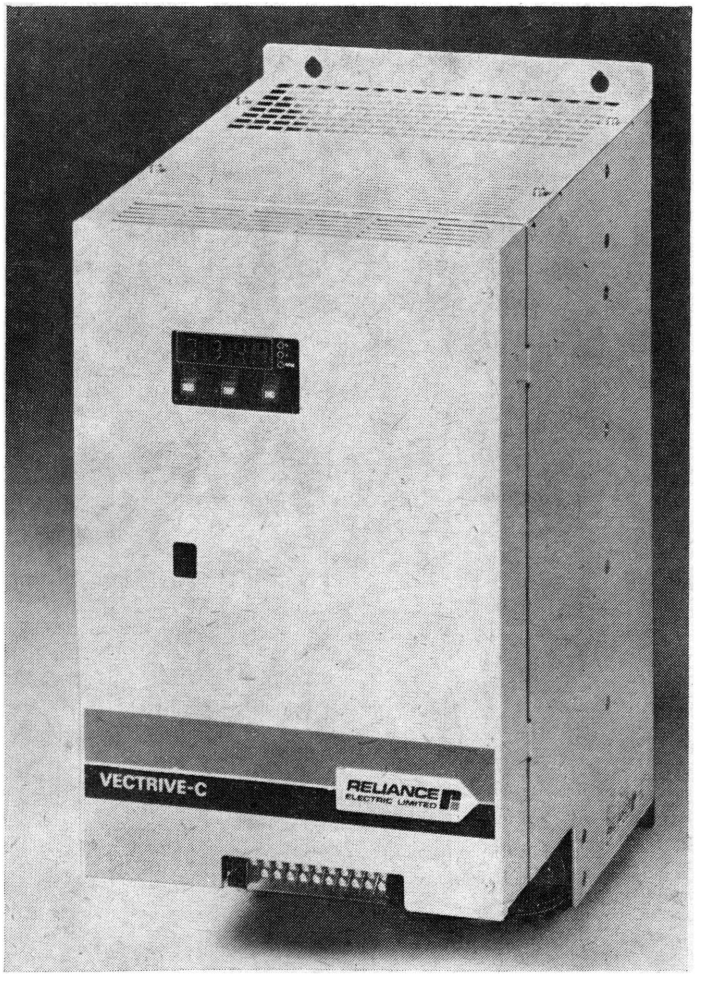


Bild 4
Drehstromantrieb Vectrive-C der Firma Reliance: Umrichter und feldorientierte Regelung

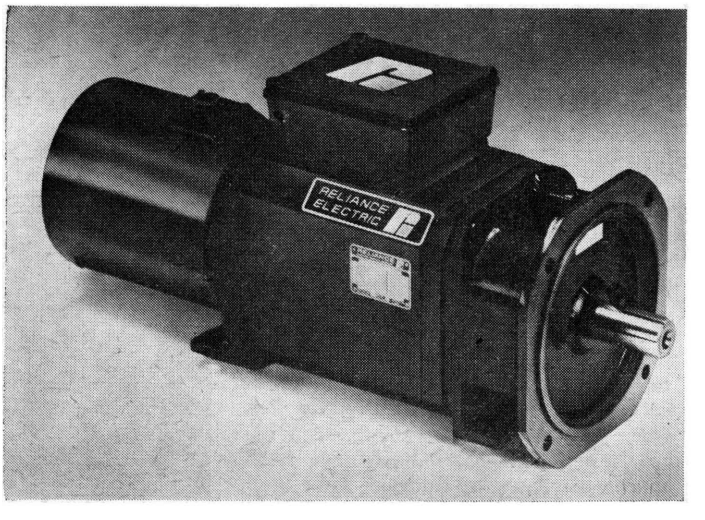


Bild 5
Gehäuselose Asynchronmaschine als Komponente des Systems Vectrive-C

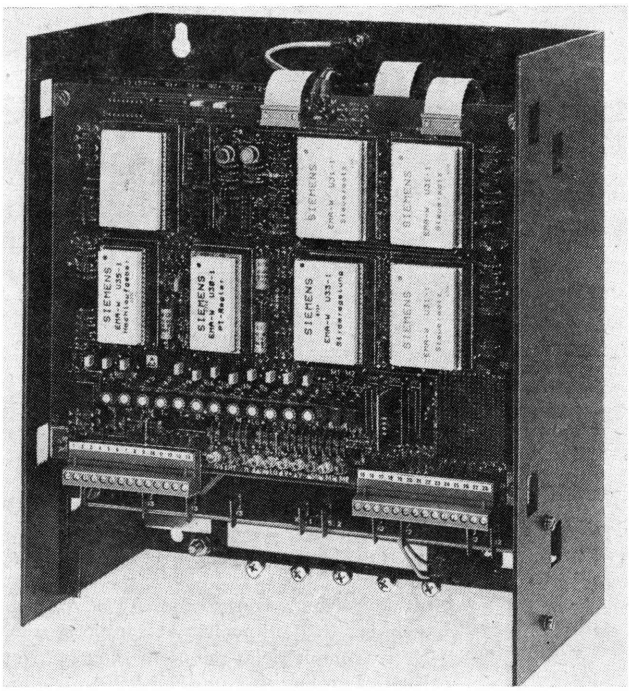


Bild 6
Hybride Schaltkreise im Stromrichter SIMOREG K der Firma Siemens AG

„Wiesel", das ebenfalls am Beispiel einer Papiermaschine einen Mehrmotorenantrieb durch 15 Frequenzumrichter VOTURON GTO zu steuern hat. Betont wird die Verminderung des Geräuschpegels durch Wegfall des Lüftungssystems, das für die eigenbelüfteten Asynchronmotoren nicht notwendig ist.

Die Vorteile des Übergangs von der Gleichstrom- zur *Drehstromantriebstechnik* werden überzeugend von der Firma ATB durch den Vergleich zweier Hauptspindelantriebe für Werkzeugmaschinen demonstriert (Bild 7). Diese Firma stellt als Motoren für die Drehstromantriebstechnik, nicht nur für eigene Antriebsangebote, sondern auch als Zulieferung für andere Firmen, folgende Reihenvarianten zur Verfügung:

- Normmotoren für alle ungeregelten Antriebe
- V-Motoren im Normgehäuse für den Anbau von Komponenten der Regeltechnik, für eine billige Hauptantriebsvariante
- M-Motoren, wenn Regelaufgaben und Wirkungsgrad den Vorrang haben, als Teil eines Elektronikmotor-Antriebs
- U-Motoren für Hauptspindelantriebe mit feldorientierter Regelung als streuungsarme, stromverdrängungsfreie Asynchronmotoren.

Die zugehörigen Umrichter haben eine Taktfrequenz von 20 kHz.

Bei der Applikation der drehzahlvariablen Drehstromantriebstechnik ist das Bemühen zu erkennen, einerseits durch Eingrenzung der Anwendungsfälle, andererseits durch Anwendung hoher Pulsfrequenzen eine Momentenherabsetzung beim Motor im Umrichterbetrieb zu vermeiden. Hierzu werden auch thermische Reserven der Wicklungen der Motoren, die meist in Wärmebeständigkeitsklasse F ausgeführt sind, genutzt. Durch die tendenzielle Verminderung des Oberwellengehalts bei der Umrichterspeisung werden die Geräuschprobleme allgemein vom Anwender kritischer betrachtet. Maßnahmen gegen die Geräuschemission sind neben hoher Pulsfrequenz die Auswahl aufgrund ihrer konstruktiven Ausführung geeigneter Motoren und Fremdlüfter oder aber auch die Filterung, so wie sie durch die Firma ELIN in Form einer Kondensator-Drossel-Kombination (Wertanteil: 30 % vom UR-Wert) wahlweise realisiert wird.

Service und Inbetriebnahme von Stromrichtern und Umrichtern wird eine größere Beachtung durch Einbau entsprechender Mittel geschenkt. Der neue Frequenzumrichter FU 300 der Firma Lust, ausgerüstet mit 16-bit-Rechner und speziellem ASIC für die sogenannte Raumzeigermodulation, hat ein digitales Bedienfeld, mit dem die Bereiche

- Anzeige der Istwerte
- Betriebswerte
- Störungsanzeige
- Optionen

durch nur 4 Tasten „rollierend" zugängig werden.

Die Firma Garbe, Lahmeyer & Co. hat für ihre galatron-Pulsumrichter ein Inbetriebnahme- und Service-System geschaffen, das die Einbeziehung eines Rechners mit Expertensystem sowohl vor Ort als tragbares Gerät als auch herstellerfirmenzentral zu bestimmten Tageszeiten vorsieht. Für den Diagnosedialog steht der gesamte Bildschirm zur Verfügung.

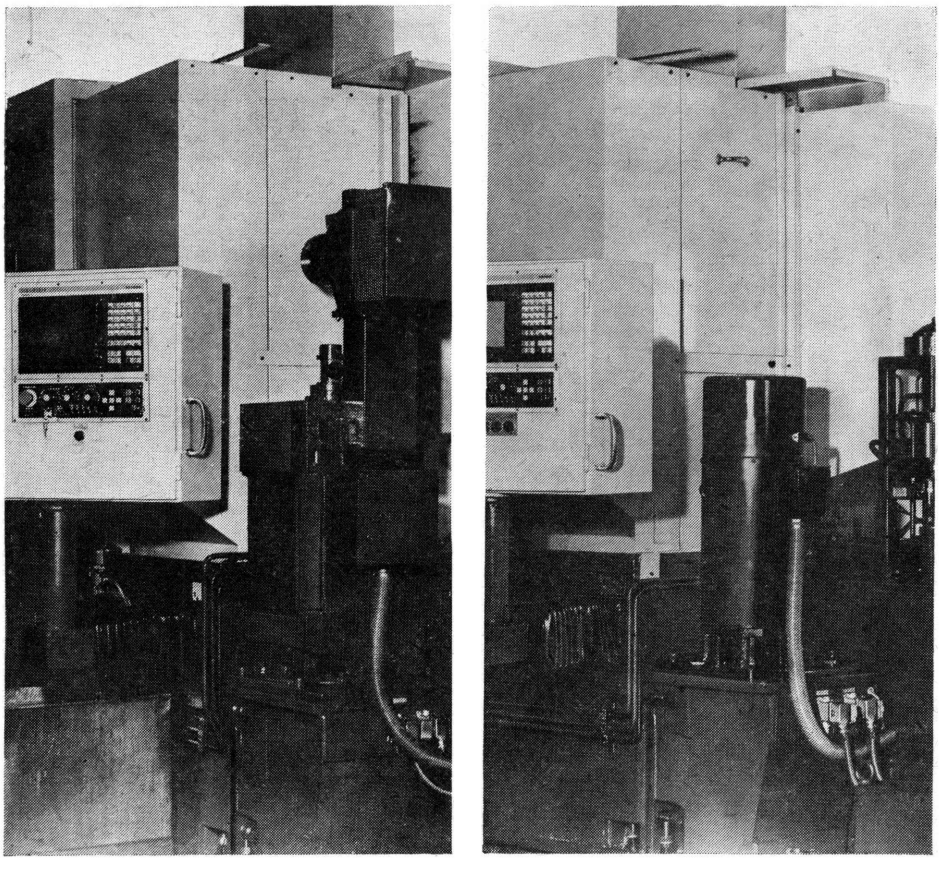
Bei Umrichtern der Firma REFU ist über das Bedienfeld die Zuordnung von Spannung und Frequenz beeinflußbar.

Große Aufmerksamkeit wird auch der *Zustandsüberwachung* des Antriebs geschenkt. So enthält der schon erwähnte Umrichter FU 300 der Firma Lust eine Temperaturüberwachung der Kühlkörper der Leistungshalbleiter (Abschalttemperatur 80 °C) wie auch eine Temperaturüberwachung der Motorwicklung mit Kaltleitern.

Die neuerdings digitalisierten Umrichter der Firma AEG des Typs Miniverter D wie auch die Stromrichter Minisemi D überwachen die Erwärmung der Kühlkörper und der Motorwicklung über ein thermisches Modell, bei drehzahlabhängiger Belüftung wird die Anwendung eines Temperaturfühlers angeraten.

Als selbständiges Überwachungsgerät ist die „Zustandsüberwachungseinheit für Antriebe DMU" der Firma Laurence, Scott & Electromotors LTD, Großbritannien, auf den Markt gekommen. Neben der Elektronik erfaßt es auch den Motor, speichert die Zustandswerte und ist somit in der Lage, sich anbahnende Schäden am An-

Bild 7. Vergleich von Hauptspindelantrieben
a) Gleichstromtechnik mit Kühlluftsystem
b) Drehstromtechnik (Fa. ATB)



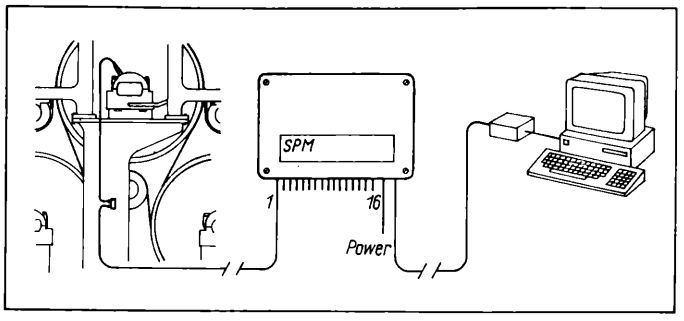


Bild 8. Überwachungssystem BMS-20 für Wälzlager von kompletten Anlagen der Firma SPM

trieb zu erkennen. Ein weiteres Gerät dieser Firma ist der „Strömanalysator für Induktionsmotoren IMCA", der speziell der kontinuierlichen Überwachung wichtiger und zahlreicher Einzelantriebe hinsichtlich sich anbahnender Läuferschäden dient. Das im Jahre 1987 von der Firma ASEA kreierte Überwachungssystem für Motoren VIKING II [3] wurde inzwischen weiterentwickelt. Dem gewachsenen Bedürfnis der Überwachung kompletter Anlagen angepaßt, entstand das kontinuerliche Überwachungssystem des Zustands von Wälzlagern mit anschließender Datenverarbeitung der Firma SPM, USA. Erste Anwendungen liegen in der Papierindustrie, u.a. ist der Einsatz bei der Erweiterung einer Zellstoffabrik vorgesehen.

Dieses System BMS-20 ist in der Lage, bis zu 250 Meßeinheiten jeweils durch 16 Kanäle Wälzlagerdaten mit Hilfe einer Systemeinheit aufzunehmen und zu speichern und schließlich für verschiedene auswertende Rechner zur Verfügung zu halten. Die Auswertung mit Personalcomputern und hochentwickelter Software mit Analyse- und Trendaussage wurde vorgeführt (Bild 8).

Bemerkenswert waren die Bemühungen zur weiteren Vervollkommnung der Kommutatormaschine, speziell auch im Zusammenhang mit der Schutz- und Sensortechnik. Die Firma Hübner, Berlin (West) demonstrierte die Beständigkeit der Longlife-Ausführung ihres Kommutators für Tachomaschinen (Bild 9) gegenüber Verölung, und die Firma Schunk, BRD, wies mit einer mikroprozessorbestückten Steuer- und Überwachungseinrichtung für große Kommutatoren sowohl auf die Möglichkeiten der hydraulischen Betätigung der Bürsten zur Sicherung des Vollastzustand als auch der intensiven Überwachung der gesamten Maschine als Bestandteil eines hochautomatisierten Systems hin (Bild 10).

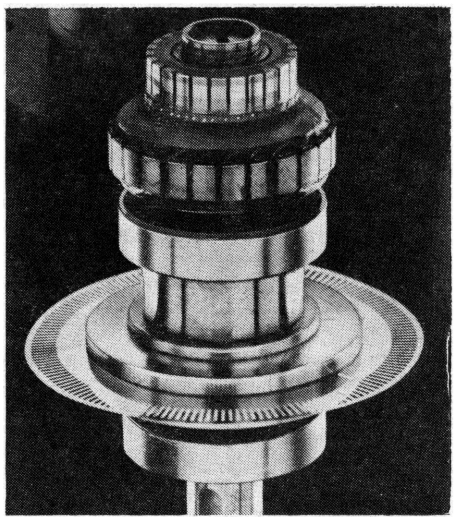


Bild 9. Longlife-Kommutator der Firma Hübner, Berlin (West)

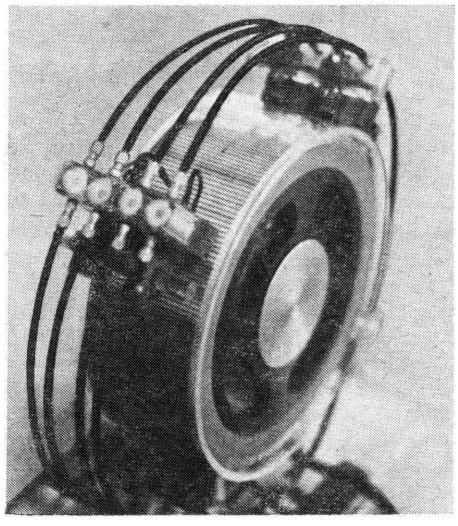


Bild 10. Betätigungseinrichtung für die Bürsten eines Kommutators zur Sicherung des Vollastzustands (Firma Schunk)

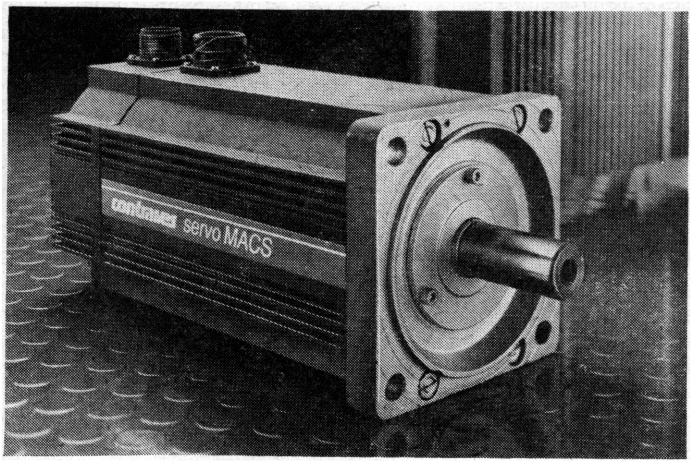
Es wurden auch Mikroschalter zur Kontrolle des Bürstenverschleißes vorgeführt. Alles Hinweise, die aus der Applikationstätigkeit der genannten Firmen heraus das Bedürfnis der Anwender nach bewährten zuverlässigen Konstruktionen der Kommutatorentechnik widerspiegeln.

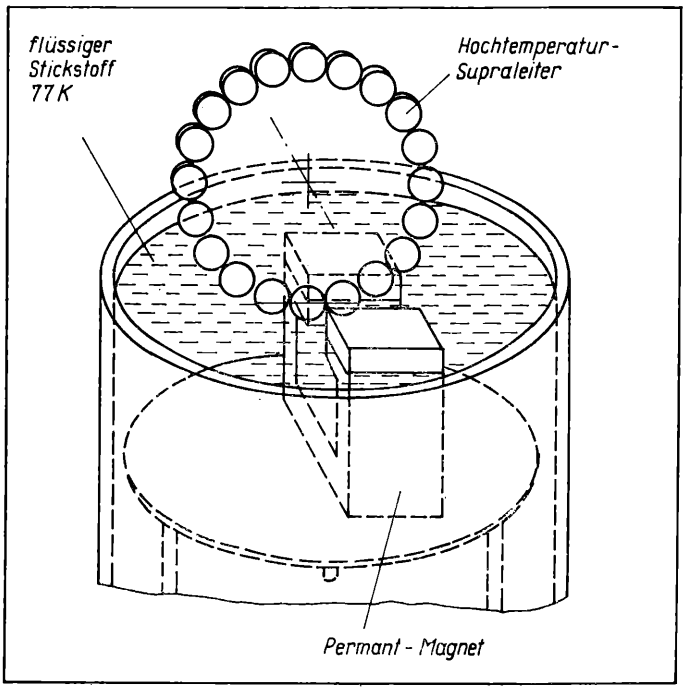
Die *Nutzung neuer Werkstoffe* wird hinsichtlich der Anwendung von Neodym-Eisen-Bor-Magneten eindrucksvoll durch die neue Reihe von Drehstrom-Servomotoren der Firma Contraves belegt (Bild 11). Der relativ großen Temperaturempfindlichkeit des Magnetmaterials wird in diesen Synchronmotoren durch eine Überwachung der Läufertemperatur mit im Luftspalt angebrachten Infrarot-Sensoren begegnet. Im Ergebnis liegen Motoren vor, deren Ausnutzung denen von Motoren mit Samarium-Kobalt-Magneten gleichkommt, d.h., ein Teil des höheren Energieprodukts von Neodym-Magneten wird dem Temperatureinfluß geopfert, deren Einsatzmaterialkosten sicherlich aber niedriger liegen. Die zugrunde liegende Auslegungsstrategie wurde auch vom Hersteller solcher Magnete, der Vacuumschmelze GmbH Hanau, vorgeschlagen.

Mit der Entdeckung „warmer" Supraleiter entstehen überall in der Welt Aktivitäten zur perspektivischen Nutzung, vielleicht auch für rotierende elektrische Maschinen. Symbolisch dafür war ein Exponat der Firma AEG: Mit Hilfe von flüssigem Stick-

Bild 12 ▶
Demonstration der Firma AEG zur Anwendbarkeit von Hochtemperatur-Supraleitern

Bild 11 ▼
Drehstrom-Servomotor der Firma Contraves mit Neodym-Eisen-Magneten





TAGUNGEN

Energie- und aufwandminimierte Analogverstärker mit Driftkorrektur für piezoelektrische Sensoren

135. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt am 24. März 1988

Der Referent, Dr.-Ing. *Fahrun* von der Sektion Technische Elektronik der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, sprach unter diesem Thema über

— piezoelektrische Sensoren
— Primärelektronik
— Driftkorrektur
— Energie- und Aufwandminimierung und
— Definition der „zeitlichen Drift".

Hinsichtlich der Abgrenzung seines Vortrages verwies Dr. *Fahrun* darauf, daß das Anwendungsgebiet speziell die Ozeanographie betrifft, woraus verschiedene Einschränkungen resultieren. Das bezieht sich vor allem auf die Autonomie der Systeme sowie Minimierung des Raum- und Energiebedarfs. Weiterhin wird nur bei tiefen und tiefsten Frequenzen gearbeitet, weshalb viele Aussagen nur bis etwa 10 (30) Hz Gültigkeit haben. Ausgangspunkt war die Darstellung eines Sensors, der die Eingangsgröße Druck in eine Ausgangsspannung wandelt.

Für das angegebene Ersatzschaltbild des Wandlers wurde der Gültigkeitsbereich beschrieben und insbesondere auf die mit zunehmendem Eingangsdruck steigende Grenzfrequenz verwiesen.

Der Definition der mechanischen Güte folgte die Darstellung der Ortskurven und Festlegung des Arbeitsbereiches. Die dem piezoelektrischen Sensor — dem eigentlichen Meßwertaufnehmer (Fühler) — nachgeschaltete Primärelektronik ist unmittelbar angeflanscht. Im weiteren erläuterte Dr. *Fahrun* die Nachfolgeelektronik und verwies unter anderem auf bedeutsame Aspekte für deren Aufbau:

— Als Stromverstärker wird ein Ladungsverstärker mit Tiefpaß im Gegenkopplungszweig eingesetzt
— Spannungsverstärkung muß gegen Null gehen
— der Operationsverstärker arbeitet deshalb mit diskreten Stufen
— sehr hohe statische Eingangswiderstände, deren Verhältnis zu Gegenkopplungswiderständen ermittelt wurde, sind erforderlich.

Im Ergebnis erfolgte auf der Basis der notwendigen gepaarten Bauelementeauswahl die Schaffung eines speziellen Verstärkers, mit dem für sehr kleine Eingangsströme recht akzeptable Ausgangswerte erzielt wurden.

Die Untersuchungen zur Driftkorrektur, wobei sowohl die Drift des Wandlers als auch die des Verstärkers zu beachten ist, wurden in verschiedenen Richtungen vorgenommen:

1. Meßwandler und Verstärker vollkommen symmetrisch aufgebaut,
2. alternierende Messung,
3. periodische Nullpunktkorrektur.

Die erste Variante scheidet für den praktischen Fall aus, da zwei völlig symmetrische Systeme nie verfügbar sind.

Bei der alternierenden Messung, also einer Umschaltung von Erfassen des Meß- und Driftsignals auf nur Erfassen des Driftsignals, d.h. Umschalten von Meß- auf Korrekturphase, konnte eine Signalabstandsverbesserung nach Tiefpaßfilterung am Ausgang erreicht werden. Die erzielten Ergebnisse wurden dem Hörerkreis bildlich im Zeitbereich vorgestellt.

Bei der dritten Variante wird in der Korrekturphase das Ausgangssignal = 0 gesetzt, wobei allerdings der zeitlichen Beherrschung der Schalterstellungen am Ein- und Ausgang besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muß. Bei dieser Lösung bieten sich je nach Anordnung der Kondensatoren drei Möglichkeiten der Speicherung:

a) Driftsignalspeicherung,
   Ermittlung des Amplitudendichtespektrums,
b) Meßsignalspeicherung,
   Übertragungsfunktion für Meßsignal ist nicht konstant,
c) beide Signale, Drift- und Meßsignal, werden gespeichert,
   Hochpaßverhalten für jedes Spektralverhältnis.

Aus systemtheoretischer Sicht dürften sich sämtliche aus der Literatur bekannten Schaltungen in eine der aufgeführten Varianten einordnen lassen.

Im Endeffekt stellte der Referent die realisierte Schaltung vor und konstatierte anhand von Meßergebnissen eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhaltens von 6,5 mV (unkorrigiert) auf 35 µV bei Korrektur.

Außerdem kann eine Driftkorrektur durch Parallelschaltung mehrerer Verstärkerelemente erzielt werden. Des weiteren wurden Zahlenwerte für die Signal-Rausch-Abstandsverbesserung bei Bipolartransistoren, SFET und MOS angegeben.

Ausgehend von der Feststellung, daß das Störleistungsspektrum ein Gütemerkmal ist, wurde nachgewiesen, daß bei Offset-Schaltungen die Drift nie Null wird und es keine vorhersagbare Zeitabhängigkeit der Drift gibt. Demnach ist letzten Endes die Angabe einer linearen Drift in Datenblättern sehr fragwürdig, denn eine Ausgangsspannung an einem Sensor mit Primärelektronik bei $X_e = 0$ mit dem Wert 0 wird nicht realisierbar sein.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 2848

Material- und energieökonomische Lösungen durch moderne Drehstromantriebe

Weinhold-Seminar der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt am 13. April 1988

Zur Ehrung der Verdienste *Adolf Ferdinand Weinholds* bei der Entwicklung der Elektrizitätslehre zur Elektrotechnik und deren Durchsetzung im Rahmen der Ingenieurausbildung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts hatte der Direktor der Sektion Informationstechnik, Prof. Dr. sc. techn. *G. Witzschel*, zu dieser Veranstaltung eingeladen.

Als Wegbereiter der Institutionalisierung der Elektrotechnik als eigenständige Wissenschaftsdisziplin und mit dem Ruf eines brillanten Vorlesungsexperimentators widmete *Adolf Ferdinand Weinhold* über 50 Jahre seines Lebens lehrend und forschend der Chemnitzer Bildungsstätte. Von Leipzig kommend entwickelte *Weinhold* — damals zwanzigjährig — ab 1861 an der gerade 25 Jahre bestehenden Königlichen Gewerbeschule als Assistent der Landwirtschaftlichen Versuchsstation eine rege Forschungstätigkeit. Nachdem er sich im Wintersemester 1864/65 erfolgreich als Physiklehrer bewiesen hatte, stellte das Ministerium des Innern *Weinhold* als Lehrer ohne Staatsdienerqualität für Physik an der Gewerbeschule sowie der ihr angeschlossenen Baugewerbeschule und Werkmeisterschule ab 1. April 1865 fest an. Drei Jahre später bekam er die Staatsdienerschaft verliehen, und nach Verordnung vom 24. Februar 1870 erhielt er — knapp 29jährig — das Dienstprädikat Professor. Dank seiner reichen Erfindungsgabe und seiner außerordentlichen Veranlagung für mechanische Arbeiten sowie seiner hervorragenden Fähigkeiten im Glasblasen, die ihn befähigten, schwierige Apparate und Gasentladungsröhren selbst anzufertigen, rüstete *Weinhold* das Physikalische Kabinett nach und nach mit zahlreichen Geräten aus, die er zum Teil selbst konstruiert und mit Unterstützung des Chemnitzer Mechanikermeisters *Lorenz* auch selbst angefertigt hatte. Erste Ergebnisse seines unermüdlichen Strebens, Demonstrationsexperimente für die Physikvorlesungen zu schaffen, faßte er 1869 im „Leitfaden für den physikalischen Unterricht" zusammen. Er setzte programmatisch grundlegend neue Richtlinien für den Physikunterricht, indem er feststellte: „Um das Wesen der Erscheinung verstehen zu lernen, müssen wir in der Regel Erscheinungen künstlich hervorrufen, wir müssen Versuche (Experimente) anstellen, bei denen wir die Bedingungen, unter denen etwas geschieht, nach unserer Willkür einzeln abändern und dadurch den Einfluß der einzelnen Umstände erkennen können. Zu solchen Versuchen braucht man meistenteils besondere Vorrichtungen (Apparate). Beim ersten Anblick kann es leicht scheinen, als seien die mit den manchmal ziemlich verwickelten Apparaten angestellten Versuche noch weniger verständlich als die von selbst eintretenden Naturerscheinungen; das Beiwerk des Apparates ist uns aber in seiner Wirkungsweise vollkommen bekannt, während bei den unmittelbaren Naturerscheinungen manche wirksamen Einflüsse nicht nur uns unverständlich sind, sondern oft

---

stoff (77 K) wurde der Meißner-Ochsenfeld-Effekt genutzt, eine mit Hochtemperatur-Supraleitern besetzte Scheibe zur Rotation zu bringen (Bild 12).

Literatur

[1] Pressemitteilung des Zentralverbands Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. (ZVEI)
[2] Dokumentation des Fachverbands Elektrische Antriebe im ZVEI
[3] *Reiche, H.:* Elektrische Antriebe auf der Hannovermesse 1987. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 11, S. 426–429

EA 2840

ganz übersehen werden. . . . Vor allem aber wird es sich für den Anfang darum handeln, dem Lernenden eine geordnete Reihe von Tatsachen vorzuführen und ihn anzuleiten, die Erscheinung zu beobachten, d.h., alles richtig wahrzunehmen, was bei einem Versuche geschieht, nichts zu übersehen, aber auch nicht durch vorgefaßte Meinungen sich verleiten zu lassen, Dinge zu sehen, die gar nicht geschehen . . ."

Er ging aber noch bedeutend weiter, indem er feststellte:

„Viel vorteilhafter als eine Vorführung der Versuche durch einen anderen ist es, wenn der Lernende unter Anweisung eines Lehrers die Versuche selbst ausführt, weil er dabei gezwungen ist, auf alle Umstände, von denen das Gelingen eines Versuches abhängt, genau Obacht zu geben. Während es beim bloßen Ansehen der von einem anderen angestellten Versuche leicht geschieht, daß etwas besonders Auffälliges die Aufmerksamkeit allein erregt und von minder hervortretenden, aber wichtigeren Dingen absieht [1]."

Im Rahmen der Jubiläumsfeierlichkeiten zur 150. Wiederkehr des Beginns der Ingenieurausbildung in Chemnitz/Karl-Marx-Stadt erhielt eine Büste *Adolf Ferninand Weinholds* in dem nach ihm benannten neuen Sektionsgebäude der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt ihren würdigen Platz, und die besten studentischen Forschungsleistungen werden jährlich mit dem Adolf-Ferdinand-Weinhold-Preis ausgezeichnet.

Prof. Dr. sc. techn. *P.-K. Budig*, Korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften der DDR, Vizepräsident der Kammer der Technik, Dekan der Fakultät für Elektroingenieurwesen und Leiter des Wissenschaftsbereiches Elektrische Antriebstechnik und Antriebsmittel, leitete seinen Vortrag zu o.g. Thema mit dem Hinweis auf das 100jährige Jubiläum des industriellen Elektromaschinenbaus und die 150jährige Existenz des Elektroantriebes ein — 1838 *Jakobis* Elektroboot auf der Newa.

Auf die Bedeutung wichtiger Entwicklungsetappen eingehend, wie beispielsweise die Entdeckung des elektrodynamischen Prinzips 1866 durch *W. von Siemens*, das den Startschuß für die Entwicklung der Starkstromtechnik gab und damit eine neue, das technisch-ökonomische Niveau der Produktion revolutionierende Energiequelle erschloß, zeigte der Referent die historisch charakteristischsten Antriebslösungen im Zusammenhang mit dem Prinzip der elektromechanischen Wandlung auf.

Erfolgte zunächst die Ablösung der Dampfmaschine durch den Elektromotor unter Beibehaltung von Transmissionsantrieben, so folgte bald der Übergang auf Einzelantriebe mit zunächst festen Drehzahlen. Der Wunsch zu deren Variation führte dann zur Entwicklung und zum Einsatz von Gleichstromantrieben und unter Einbeziehung der Stromrichtertechnik schließlich zur Weiterentwicklung der Drehstromantriebstechnik.

Dienten über einen langen Zeitraum hauptsächlich mechanische Getriebe der Anpassung der Drehzahlen an unterschiedlichste Bedingungen, so wurden in jüngster Vergangenheit die Forderungen nach getriebelosen drehzahlvariablen elektrischen Direktantrieben auf Grund der hierdurch erzielbaren materialökonomischen Effekte immer umfangreicher und eindringlicher.

Eine weitere unübersehbare internationale Tendenz ist die Drehzahlerhöhung. So sind beispielsweise bei hochtourigen Verdichtern mit 15000 U/min durch etwa 50%ige Drehzahlerhöhungen Materialeinsparungen in Größenordnungen von 20% realisierbar.

Diese Grundtendenzen gelten nicht nur für die Grundstoffindustrie, wo hohe Leistungen und sehr große Drehmomente vorherrschend sind. Prof. *Budig* ging auch auf antriebstechnische Probleme und Forderungen, erkennbare Entwicklungstendenzen und Rationalisierungseffekte in Industriezweigen der Leichtindustrie, im Transport- und Verkehrswesen, im Bereich von Haushalt und Freizeit sowie bei der Datenverarbeitung und im wissenschaftlichen Gerätebau ein. Auf letzterem Sektor erscheint bemerkenswert, daß die Tendenz zum Einsatz von

— Elektronikmotoren
— Linearmotoren
— Schrittmotoren

führt.

Aus einer Analyse des Energieverbrauchs in der DDR auf den verschiedenen Gebieten wurden schwerpunktmäßig die Quellen für Einsparungsmöglichkeiten abgeleitet. Entsprechend dem derzeitigen Stand der Grundlagenforschung auf den Gebieten der Krafterzeugung im magnetischen und im elektrostatischen Feld folgte ein Vergleich der Zukunftsaussichten für die praktischen Realisierungschancen dieser Energieumsetzung.

In Zusammenfassung der Ausführungen läßt sich die Tendenz erkennen, daß künftig nur drei Motortypen,

— Gleichstrommotoren
— Drehstrommotoren
— Schrittmotoren,

zum Einsatz kommen werden. Unter diesem Blickwinkel arbeitete Prof. *Budig* die wichtigsten Forderungen für derartige elektrische Antriebe heraus:

1. Drehzahlstellbereiche zwischen 1:3 bis 1:10000 im 4-Quadranten-Betrieb.
Dabei ist besonderer Wert auf bestmögliches dynamisches Verhalten gelegt, was beispielsweise im Hochlauf von Drehzahl 0 auf Nenndrehzahl innerhalb 20 ms zum Ausdruck kommt. Neben der Forderung eines ruckfreien Anlaufs wird auch zum Stabilisieren eines Antriebs (Festhalten) von der Drehzahl „Null" künftig die Rede sein. In der Regel ist vom Einsatz im Lageregelkreis auszugehen, und die Anwendung von Mehrmotorenantrieben wird an Bedeutung gewinnen.
2. Geringe Blindstromaufnahme aus dem Netz sowie geringe Oberschwingungsbeanspruchung des Netzes.
3. Wesentliche Erhöhung der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit.
Die Realisierung dieser Forderungen wird vor allem durch erhöhten Bedienkomfort und zunehmende Wartungsarmut begleitet.

Im folgenden Abschnitt erläuterte Prof. *Budig* die Möglichkeiten der Gestaltung drehzahlvariabler Antriebe mit Gleichstrom- und Drehstrommotoren. Auf der Grundlage verschiedener Übersichten wurde der Einsatz von Stromrichtern sowohl als Direktumrichter als auch als Strom- oder Spannungswechselrichter (mit Zwischenkreisumrichter) dargestellt. Am Beispiel der Förderstromregelung bei Pumpen und Verdichtern erfolgte die grafische Darstellung möglicher Leistungseinsparungen durch Drehzahländerung des Antriebsmotors gegenüber bisher eingesetzter Drossel- bzw. Bypass-Regelungen. Als wesentlich wurde bei diesen Betrachtungen herausgestellt, daß die ökonomischen Nutzeffekte in erster Linie aus dem technologischen Prozeß kommen, wobei sich jedoch der Konstrukteur/Projektant je nach Größenordnung des Antriebs auch an den vom Referenten genannten Aufwand: Nutzen-Kennziffern orientieren muß.

Bei den anschließenden Betrachtungen zu Wechselrichtern mit Leistungsbereichen bis gegenwärtig 180 kW (künftig 500 kW) beim Einsatz der aufwandärmsten Bauelemente Transistoren bzw. bis 1000 kW mit GTO und über 1000 kW hinaus mit schnellen Thyristoren betonte der Referent die bei Transistoren zu erwartenden hohen ökonomischen Effekte.

Neben einigen weiteren Bemerkungen zu Forschungsarbeiten an der Sektion Automatisierungstechnik der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt, wie beispielsweise der Leistungselektronik, moderner Schütze oder magnetischer Lager, kam selbstverständlich auch entsprechend ihrer zunehmenden Bedeutung die Problematik der computergestützten Projektierung und Dimensionierung zur Sprache. Die entwickelten Softwarepakete zur CAD-Arbeit dienen der Projektierung kompletter Antriebssysteme im Zuge des Entwurfs sowie der Simulation von

— Reglern
— Stromrichtern und
— elektrischen Maschinen.

Die vielseitigen Fragestellungen in der anschließenden Diskussion zeigten die Aktualität der Probleme und das große Interesse des Hörerkreises an den hochinteressanten Ausführungen.

Literatur

[1] *Weinhold, A. F.:* Vorschule der Experimentalphysik. Leipzig: 1907
[2] *Szöllösi, D.; Winde, B.:* Adolf Ferdinand Weinhold (1841–1917). Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Karl-Marx-Stadt 29 (1987) 4, S. 609

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 2849

Internationales Kolloquium Hochspannungsprüftechnik in Leningrad

Das Internationale Kolloquium Hochspannungsprüftechnik fand vom 17. bis 22. April 1988 unter der Schirmherrschaft von INTERELEKTROTEST statt und wurde gemeinsam von den Institutionen NIIPT Leningrad, VEB TuR Dresden und dem Wissenschaftsbereich Hochspannungstechnik der TU Dresden vorbereitet und organisiert.

Das Ziel dieser Veranstaltung bestand in einem Erfahrungsaustausch der Kunden, die mit Hochspannungs-Prüf- und Meßtechnik des VEB TuR Dresden ausgerüstet sind, sowie in der Diskussion gegenwärtiger und künftiger Forschungsarbeiten in den Hochspannungslaboratorien der Teilnehmerländer. Vom Vorbereitungskomitee wurden insgesamt 79 Beiträge aus 6 RGW-Ländern — zum überwiegenden Teil durch sowjetische und DDR-Experten vertreten — angenommen. Ein Drittel dieser Beiträge wurde im Rahmen einer Postersession vorgestellt. Am Kolloquium beteiligten sich 180 Wissenschaftler von Industriebetrieben und Forschungslaboratorien der UdSSR, der VR Polen, der ČSSR, der Ungarischen VR, der SR Rumänien und der DDR.

Im folgenden soll ein kurzer Überblick über die in 3 Sektionen behandelten Probleme gegeben werden:

Sektion 1

Hochspannungsprüfanlagen (*Spiegelberg*, DDR)

Erfahrungen beim langjährigen Einsatz von Hochspannungsprüfanlagen vom VEB TuR Dresden. Der Einfluß extremer Umweltbedingungen auf ihre Arbeitsweise. Neue Entwicklungen auf dem Gebiet der HS-Prüftechnik (TuR Dresden). Modifikationen von HS-Prüfanlagen für spezielle Anwendungsfälle.

Sektion 2

Hochspannungsmeßtechnik (*Haller*, DDR)

Probleme der automatisierten Durchführung und Auswertung von HS-Prüfungen, Einsatz von Rechentechnik, Signalübertragung mit Lichtleitkabeln, Optoelektronische Meßsysteme, Spannungs- und Strommeßeinrichtungen und ihre Kalibrierung, Verlustfaktormessung.

Sektion 3

Prüfverfahren, Prüfergebnisse

1. Untersektion: Allgemeines (*Gutmann*, UdSSR)

Durchschlagverhalten langer Luftfunkenstrecken, Prüfung von Transformatoren und Ventilableitern.

2. Untersektion: Prüfungen bei Verschmutzungen (*Solomonik*, UdSSR)

Prüfeinrichtungen und -methoden, Einfluß von Inhomogenitäten und Isolatorenbauform, Isolatoren in Industriegebieten.

3. Untersektion: TE-Prüf- und Meßtechnik (*Hauschild*, DDR)

TE-Prüfung von SF_6-Anlagen, PE-Kabeln und Transformatoren; Vorortmessungen, TE-Messung bei Schaltspannung, Elektromagnetische TE-Sonde.

Die Tagungsmaterialien liegen in den Institutionen VEB TuR Dresden, VEB Keramische Werke Hermsdorf, TPH Berlin, TU Dresden und IH Zittau vor.

S. Zöllner, Dresden EA 2844

PATENTE

Wickelvorrichtung für automatische Spulenwickelmaschinen, vorzugsweise für Folgewickelmaschinen

DD-WP: 247 766
Int.-Cl.: H 01 F 41/04
Anmeldetag: 18. 02. 1986
Anmelder: VEB ZWT im VEB Kombinat Rundfunk und Fernsehen

Aufgabe der Erfindung ist es, die Drehbewegung für die Bewicklung einer Spule auf einer automatischen Spulenwickelmaschine spielfrei von der Antriebsscheibe auf den Wickelkopf zu übertragen.

Diese Aufgabe wird durch eine Wickelvorrichtung mit einer Schiebewelle, die mit einem Ende federnd an einer Vorschubeinrichtung liegt, am anderen Ende einen Wickelkopf hat und in einer drehbaren, hülsenartigen Antriebswelle angeordnet ist, wobei die Antriebswelle in einer Antriebsscheibe und im Gehäuse gelagert ist, dadurch gelöst, daß die hülsenförmige Antriebswelle in Form einer Spindel ausgebildet ist. Die Spindel ist mit einer an sich bekannten Freilaufkupplung versehen, und ein in einer Nut axial verschiebbarer Gleitstein bildet die Verbindung zwischen der Spindel und dem Wickelkopf. Die Spindel erstreckt sich über die gesamte Schiebewelle, mit Ausnahme des von der Druckfeder umfaßten Teils. Sie ist mit Nadellagern auf der Schiebewelle angeordnet, und im Gehäuse und in der Antriebsscheibe ist sie mit spielfrei einstellbaren Kuppellager gelagert.

Die eingesetzte Freilaufkupplung besteht aus den an sich bekannten Teilen, einem inneren und einem äußeren Kupplungsring sowie einem Käfig, der die Verbindung beider Kupplungsringe herstellt.

D. Ufert, Berlin EA 2705

Verfahren und Schaltungsanordnung zur Betriebsartenwahl eines Schrittmotors

DD-WP: 249 577
Int.-Cl.: H 02 P 8/00
Anmeldetag: 02. 06. 86
Anmelder: VEB Carl Zeiß JENA

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, mit möglichst einfachen Mitteln, insbesondere ohne Rechentechnik, für die Schrittmotoreigenschaften in Verbindung mit den Lastbedingungen eine vorteilhafte Kompromißlösung zwischen Verlustleistung und Leistungsbedarf, hohem Drehmoment und Beschleunigungsvermögen sowie einem Minimum an Schrittfehlern und an Drehmomentschwankungen aufgrund von Resonanzerscheinungen zu schaffen. Sie soll mit geringem Aufwand bedienbar sein.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei einem Verfahren zur Betriebsartenwahl eines Schrittmotors, bei dem der Schrittmotor zwischen unterschiedlichen Betriebsarten, wie insbesondere impulsweise oder statische Erregung, Einzel- oder Mehrspulenansteuerung im Vollschrittbetrieb bzw. Teilschrittbetrieb, umgeschaltet wird, dadurch gelöst, daß die Betriebsart bzw. eine Kombination von Betriebsarten frequenzabhängig selbsttätig umschaltet und daß der Schrittmotor für niedrige Drehzahlen in impulsweiser Einzelspulenansteuerung, von mittleren Drehzahlen ab im Halbschrittbetrieb und ggf. von noch höheren Drehzahlen ab im Vollschrittbetrieb, angesteuert wird.

Die Schrittfrequenz für den Schrittmotor wird nach drei Frequenzbereichen ausgewertet, deren Grenzfrequenzen etwa 30 Hz, 50 Hz und 1 kHz betragen, aber schrittmotorspezifisch tolerieren können. Je nach Frequenz- bzw. Drehzahlbereich des Schrittmotors stellt sich selbsttätig impulsförmige oder kontinuierliche Erregung, Voll- oder Teilschrittbetrieb und vorzugsweise Ein- oder Mehrspulenerregung ein. Vorteilhaft kann im hohen Frequenzbereich gleichzeitig eine Strangstromerhöhung bewirkt werden.

D. Ufert, Berlin EA 2676

Vakuumschütz

DD-WP: 249 789
Int.-Cl.: H 01 H 33/66
Anmeldetag: 05. 06. 86
Anmelder: Kombinat VEB EAW Berlin-Treptow

Ziel der Erfindung ist ein Vakuumschütz mit geradlinig oder drehend arbeitendem Magnetantrieb, bei dem Magnetkraftkennlinie und Gegenkraftkennlinie weitestgehend einander angepaßt sind, um Kontaktprellungen zu vermeiden. Hierbei sollen aufwendige und verschleißanfällige Übertragungselemente vermieden und einfache Magnetkonfigurationen angewendet werden, um eine hohe mechanische Lebensdauer bei kostengünstiger Fertigung zu erreichen.

Erfindungsgemäß wird das erreicht, indem die Vakuumschaltkammer durch eine in Öffnungsrichtung wirkende Feder, deren Kraft größer ist als die in Schließrichtung wirkende Kraft des Atmosphärendrucks, in der geöffneten Schaltstellung gehalten wird. Die Schaltstückstellung wird dabei durch einen Anschlag in der Schaltkammer selbst oder am Schützgehäuse begrenzt. Der Anker des Antriebsmagneten wirkt über die Ankerrückholfeder auf das bewegliche Schaltstück. Die Ankeröffnung wird ebenfalls durch einen Anschlag am Magneten oder am Schützgehäuse begrenzt.

In Weiterbildung der Erfindung kann das Öffnen des beweglichen Schaltstücks durch einen mit Anker bzw. über einen Winkelhebel mit dem Anker starr gekoppelten Mitnehmer verbessert werden, der das bewegliche Schaltstück mit der kinetischen Energie der ersten Phase des Ankerabfalls aufreißt, was besonders beim Trennen der Schaltstücke nach leichten Verschweißungen vorteilhaft ist.

D. Ufert, Berlin EA 2677

Druckmittelantrieb mit Verriegelung für Hochspannungsschaltgeräte, insbesondere für Hebeltrennschalter

DD-WP: 249 566
Int.-Cl.: H 01 H 31/04
Anmeldetag: 29. 05. 86
Anmelder: VEB Transformatorenwerk „Karl Liebknecht"

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Antrieb zu finden, mit dem bei vorgegebener Hubkraft und Hublänge des Druckmittelantriebs die beim Ein- und Ausschalten erforderlichen Kräfte bzw. Drehmomente nach Betrag und Richtung so dimensioniert bereitgestellt werden, daß ein sicheres Schalten gewährleistet ist, wobei nach dem Schalten die Verspannung der mechanisch beanspruchten Bauteile des Antriebs trotz ihrer sicheren Verriegelung aufgehoben sein soll.
Erfindungsgemäß ist die Aufgabe dadurch gelöst, daß der in der Mitte der gemeinsamen Verbindungsstelle der beiden Kolben befindliche Bolzen in einem an der Verbindungsstelle schräg zur Bewegungsachse der Kolben verlaufenden Schlitz gleitend angeordnet ist, wobei der Fußpunkt des Schlitzes in Richtung des Kolbens für die Einschaltbewegung liegt und der obere Endpunkt des Schlitzes in Richtung des Kolbens für die Ausschaltbewegung weist. Der Winkel zwischen der Schlitzachse und der Kolbenachse ist 180° minus der Summe aus 45° plus einem vorbestimmten Überhubwinkel. Ein Abstand des Fußpunktes von der Kolbenachse in Abhängigkeit von der Länge der Innenflanke der Zinke für die Einschaltbewegung des zugehörigen gabelförmigen Antriebsbauelementes ist vorgesehen. Am Knickpunkt dieser Innenflanke ist der Überhubwinkel für die gesamte Kinematik bei vorgegebener Strombahnspitzenkraft zur Einschaltung in den Kontakt gewährleistet. Es ist ein solcher Abstand des oberen Endpunktes des Kolbenschlitzes von der Kolbenachse in Abhängigkeit von den Längen der Innenflanken der Zinken des gabelförmigen Antriebsbauelementes vorgesehen, daß bei der Ausschaltbewegung durch den Bolzen unmittelbar vor Erreichen des Knickpunktes der Innenflanke der zugehörigen Zinke die vorgegebene Ausschlagskraft gewährleistet ist.

D. Ufert, Berlin EA 2678

Komplexe Einrichtung zur Steuerung und Kontrolle von Schaltgeräten

DD-WP: 249 358
Int.-Cl.: H 02 B 1/04
Anmeldetag: 20. 05. 86
Anmelder: VEB Starkstrom-Anlagenbau Magdeburg

Das Ziel der Erfindung besteht darin, eine Anordnung der Kontroll- und Steuerorgane zu schaffen, die die bekannten Mängel beseitigt. Besonderer Wert wird auf eine ökonomisch günstige und die Arbeitsproduktivität steigernde Montagemöglichkeit, erreicht durch einen hohen Grad der Vorfertigung, gelegt.
Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine komplexe Einrichtung zur Steuerung und Kontrolle von Schaltgeräten in Niederspannungsanlagen zu schaffen. Diese Einrichtung soll einen hohen Vorfertigungsgrad bei der Montage ermöglichen sowie der Montage- und Wartungsfreundlichkeit der Anlagen dienen. Durch geeignete Maßnahmen sind Materialien wie Walzstahl und Leitungsmaterial einzusparen. Die Übersichtlichkeit und die arbeitsphysiologische Gestaltung sind zu verbessern.
Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die zur Steuerung und Kontrolle erforderlichen Geräte für jeweils ein Schaltfeld zusammengefaßt werden. Diese Geräte werden auf Türen oder Blenden oder Montagerahmen steckbar befestigt. Die elektrischen Verbindungen zwischen den Schaltgeräten und der komplexen Einrichtung werden steckbar ausgeführt.
Zur schnellen Montage wird die gesamte Einrichtung über Schlitze an Haken befestigt, die sich an der Rückseite einer das Schaltfeld verschließenden bzw. abdeckenden Tür oder Blende befinden. Dabei sind die Haken und Schlitze so angeordnet, daß die Betätigungs- und Kontrollorgane durch einen Durchbruch in der Tür oder Blende sowohl beobachtet als auch bedient werden können. Ein Öffnen der Tür bzw. Blende ist dazu nicht erforderlich.

D. Ufert, Berlin EA 2679

Elektronische Einrichtung zum Messen des Schlupfes von Asynchronmotoren

DD-WP: 220 145
Int.-Cl.: G 01 P 3/60
Anmeldetag: 23. 12. 1983
Anmelder: Bergakademie Freiberg
Erfinder: U. Beckert; W. Neuber

Die Erfindung betrifft eine elektronische Einrichtung zum Messen des Schlupfes von Asynchronmotoren. Sie ermöglicht durch ihre bis auf die Anzeige durchgehend frequenzanaloge Informationsverarbeitung die schnelle und genaue Messung des Schlupfes und erfordert nur einen einfachen Drehzahlgeber. Das wird im wesentlichen dadurch erreicht, daß die elektronische Einrichtung einen die Netzfrequenz vervielfachenden Phasenregelkreis und eine aus einer Torschaltung, einem Frequenzteiler, einem Impulsformer und einem RS-Flipflop bestehende digitale Schaltung enthält, daß an deren Eingang eine mit konstanter Spannung gespeiste Impulsendstufe angeschlossen ist und daß an deren Ausgang ein den zeitlichen Mittelwert anzeigendes Instrument betrieben wird. Mit dem Phasenregelkreis und der digitalen Schaltung wird aus den netzfrequenten und drehfrequenten Eingangssignalen eine drehfrequente Rechteckimpulsfolge mit schlupfproportionalem Tastverhältnis gebildet. Mit der angeschlossenen Impulsendstufe wird die Impulshöhe normiert, so daß der zeitliche Mittelwert der am Ausgang der Impulsendstufe entstehenden Rechteckimpulsfolge exakt dem Schlupf des Asynchronmotors proportional ist.

U. Beckert, Freiberg EA 2630

BUCHER

VEM-Handbuch Hochstromtechnik Grundlagen, Dimensionierung und Ausführungen von Hochstromanlagen

Von *G. Winkler* und Autorenkollektiv
Berlin: VEB Verlag Technik 1987
2., stark bearbeitete Auflage, 516 Seiten, 335 Bilder, 144 Tafeln, Kunstleder 43,— M, Best.-Nr. 553 7207

Daß ein Handbuch mit dem Titel „Hochstromtechnik" berechtigt und notwendig ist, hatte sich bereits aus der freundlichen Aufnahme der seit langem vergriffenen 1. Auflage ergeben. In dieser, von einem Autorenkollektiv überarbeiteten 2. Auflage, sind folgende Hauptabschnitte enthalten:

1. Problematik und Bedeutung von Hochstromanlagen
2. Allgemeine Gesichtspunkte für die Berechnung und Auswahl von Hochstromleitungen
3. Technische Kenndaten elektrischer Betriebsmittel für Hochstromanlagen
4. Wechselstrom-Hochstromanlagen
5. Gleichstrom-Hochstromanlagen
6. Schutzmaßnahmen gegen gefährliche elektrische Durchströmungen
7. Prüfung und Inbetriebsetzung von Hochstromanlagen
8. Instandhaltung von Hochstromanlagen
9. Netzrückwirkung durch Hochstromanlagen.

Daraus erkennt man, daß die Autoren mit dem Buch sowohl Projektanten, Errichter als auch Betreiber von Hochstromanlagen ansprechen wollen — und das gelingt ihnen auch. Das Buch ist eine gute Mischung von theoretischen Grundlagen, beschreibender Gerätetechnik und verdichteten Betriebserfahrungen.
Wie bei einem Handbuch mit einem großen Autorenkollektiv nicht anders zu erwarten, hinterlassen die einzelnen Abschnitte in sich einen homogeneren Eindruck als die Querverbindungen zwischen den Kapiteln.
Stellvertretend für die Breite und Gründlichkeit der angesprochenen Probleme sei auf 2 Beispiele hingewiesen:

1. Die ausführliche Behandlung der Stromverdrängung (im Abschn. 2.) sowohl hinsichtlich der theoretischen Grundlagen als auch der Vielfalt der Anordnungen.
2. Der Abschnitt 8. „Instandhaltung von Hochstromanlagen", in dem auf mehr als 50 Seiten neben allgemeinen Hinweisen zu Strategie auch systematisch geordnete, detaillierte Anweisungen zur Instandhaltung aufgeführt sind.

Auffällig für den Rezensenten ist, daß sich ein nach seiner Meinung zentrales Problem der Hochstromtechnik, die Erwärmung der Strombahn, nicht einheitlich wie ein roter Faden durch das Buch zieht. Die auf Seite 128 nur erwähnte Wärmenetzmethode wäre in der Lage, von den Verlusten in den Leitern, einschließlich den Erkenntnissen zur Stromverdrängung, den Verlusten in Kapselungen (S. 136ff.), den Verlusten in Verbindungen (S.219ff. werden Verbindungen allerdings nur konstruktiv-technologisch beschrieben) und den Vorgängen der

Wärmeübertragung (die Grundlagen S. 120 ff. werden nur im Abschn. 4.9.5. „Drehstrom-Generatoranlagen" aufgegriffen) ein übersichtliches Bild zu vermitteln, in das z. B. die wertvollen Hinweise zur Erwärmung von Konstruktionsteilen (S. 167 ff.) oder zur Instandhaltung (Beurteilung der Temperaturen von Schienen und Verbindungen) eingeordnet werden können.

Zweifellos ist den Feststellungen im Abschnitt 1. zuzustimmen, daß es infolge von erhöhten Leistungsdichten bei der Erzeugung und dem Verbrauch (evtl. auch bei der Übertragung und Verteilung) eine generelle technische Tendenz zu höheren Strömen gibt. Bei welchen Werten und warum ist nun von einer neuen Qualität, von „Hochstromtechnik" zu sprechen? Als Grenzwert werden im Buch Ströme $\geqq 3$ kA genannt. Das ist aus praktischen Erwägungen und bisher üblichen Strömen (in der Energieübertragung) sicher richtig. Beginnt aber bei diesem Wert, z. B. infolge der vom Stromquadrat abhängigen Verluste, der vom stromproportionalen Magnetfeld induzierten höheren Spannung bzw. der Ströme in inaktiven Metallteilen, wegen der Stromverdrängung bzw. wegen dauernd wirkender hoher elektrodynamischer Kräfte zwischen Leitern eine „neue Qualität", d. h. z. B. eine nicht mehr zu vernachlässigende Rückwirkung des „Hochstromes" auf elektische und mechanische Festigkeiten der Gesamtkonstruktion oder ein Ansteigen der Wirkverluste bzw. des Blindleistungsbedarfs in diesen Anlagen?

Diesen Fragen widmen sich die Autoren zwar (noch) nicht systematisch, sie werfen sie aber auf. Das heißt, das vorgelegte „Hochstrombuch" ist ein Schritt in die Richtung, die „Hochstromtechnik" zu einem eigenständigen wissenschaftlich-technischen Fachgebiet im Rahmen der Elektrotechnik zu entwickeln.

H. Böhme, Dresden ELB 9

Zuverlässigkeitsstrukturen Modellbildung — Modellauswertung

Von *K. Reinschke* und *I. A. Ušakov*
Berlin: VEB Verlag Technik 1987
1. Auflage, 239 Seiten, 95 Bilder, 14 Tafeln. Leinen 33,- M, Best.Nr. 553 728 2

Die Zuverlässigkeit technischer Systeme hat in den letzten Jahrzehnten sehr an Aufmerksamkeit gewonnen. Dem für die Planung und Betriebsführung elektrischer Energieversorgungsnetze verantwortlichen Ingenieur war sie schon lange eine bedeutende Eigenschaft der Netze. Die Zuverlässigkeitsstruktur wurde aber weitgehend mit der Topologie derselben und mit der Beherrschung des einfachen oder mehrfachen Ausfalls verknüpft. Die Boolsche Zuverlässigkeitstheorie schien dem zunächst sehr entgegen zu kommen.

Eine systematische Schwachstellenanalyse im Netz, die notwendige Reserveleistung, die Netzform mit den möglichen Schaltzuständen, die Orte der Einspeiseleistungen, die Anfahrzeiten, die Blockgrößen, die Sternpunktbehandlung im Netz, das Betriebsregime, die automatische Wiedereinschaltung und anderes erzwingen es, die Zuverlässigkeitsstruktur systematisch zu erkunden und die Grenzen der Boolschen Zuverlässigkeitstheorie zu überspringen.

Das Buch dient der Zuverlässigkeitsmodellierung und besonders der anschaulichen Darstellung der Modelle durch Graphen. Dabei wird der für elektrische Netze wichtige Grad der Aufgabenerfüllung in Betracht gezogen.

Nach der Einführung gehen die Autoren auf die Zuverlässigkeit von Kommunikationsnetzen ein, wobei die zweiterminalen ausführlich behandelt werden.

Der nächste Abschnitt dient den Zuverlässigkeitsmodellen, die nicht von vornherein einen netzförmigen Aufbau haben. Hier wird auch die eingangs erwähnte Abstufung der Niveaus der Arbeitsweise behandelt.

Im letzten Kapitel lassen die Autoren die in den beiden vorausgegangenen gegebenen oder geforderten Monotonieeigenschaften fallen. Hier wird der Prozeß mit Zustandsübergangsgraphen modelliert. Die eben auch gerade in Energieversorgungsnetzen anzunehmenden Regenerationszeitpunkte führen auf Markovsche Modelle. Zugleich wird auch gezeigt, wie die Modellierung auch mit Hilfe von Prozessen ohne Regenerationszeitpunkte erfolgen kann.

Die Zuverlässigkeitsmodelle werden also nicht als gegeben betrachtet, um von dorther auf die zugehörigen Probleme zu schließen. Hier steht die Zuverlässigkeitsstruktur im Vordergrund. Von ihr wird das zugehörige Modell abgeleitet.

Die Darstellung ist anschaulich und weitgehend leicht verständlich. Abschnitte, die stärker mathematisch abgefaßt sind, erhielten (zur Warnung?) ein Sternchen. Es gibt nur 17 Sternchen bei über 50 Abschnitten.

Ein gut gewähltes Literaturverzeichnis und ein Sachwörterverzeichnis erleichtern die Arbeit mit dem für praktisch tätige Ingenieure aber auch für Spezialisten empfehlenswerten Buch.

E. Muschick, Zittau ELB 26

Frequenzgesteuerte Drehstromasynchronantriebe

Von *E. Seefried* und *G. Müller*
Berlin: VEB Verlag Technik 1988
195 Seiten, 129 Bilder, 18 Tafeln, Pappband 26,— M, Best.-Nr. 553 725 8

Drehzahlgestellte Antriebe mit Drehstromasynchronmotoren gewinnen zunehmend an Bedeutung, da sie auch unter ungünstigen Umgebungsbedingungen einsetzbar sind.

Das Buch hat die Aufgabe, ausgehend von einer Einführung in die Stromrichterkonzepte und der analytischen Beschreibung des Asynchronmotors, die regelungstechnische Beschreibung des Motors und der Stromrichter darzustellen. Dabei sind Fragen der Bemessung des Stromrichters einbezogen. Das erfolgt für solche schaltbaren Bauelemente wie Thyristoren und Transistoren.

Im weiteren werden die Steuerverfahren für Strom- und Spannungswechselrichter für getakteten und gepulsten Betrieb mit Darstellung der Pulsbildungsverfahren behandelt. In zwei weiteren Abschnitten werden analoge und digitale Regelungen erläutert.

Ein umfangreiches Literaturverzeichnis ergänzt den Text. Die Stoffdarbietung ist übersichtlich. Moderne Beschreibungsverfahren werden angewendet. Es ist für Studierende wie auch für Praktiker von Nutzen.

K.-P. Budig, Karl-Marx-Stadt ELB 25

Programmieren mit C

Von *M. Clauß* und *G. Fischer*
Berlin: VEB Verlag Technik 1988
1. Auflage, 239 Seiten, 14 Bilder, Broschur 24,— M, Best.-Nr. 553 923 7

Das Buch „Programmieren mit C" ist das erste in der DDR erschienene Werk, das umfassend die Problematik der Programmiersprache C behandelt. Die Autoren beschäftigen sich schon viele Jahre mit dieser Programmiersprache und sind mit dem Betriebssystem UNIX bestens vertraut. Sie haben sich zum Ziel gesetzt, sowohl ein Lehrbuch für den Anfänger als auch ein Nachschlagewerk für den Praktiker zu schreiben. Als Grundlage für den in diesem Buch gewählten Sprachumfang der Programmiersprache C diente ihnen der im X/OPEN Portability Guide veröffentlichte Sprachstandard, der in den modernen UNIX-Systemen ab Version V, Release 2.Ø ebenfalls benutzt wird.

Das Buch ist in drei Hauptabschnitte und fünf Anhänge gegliedert. Im ersten Hauptabschnitt wird eine Einführung in die grundlegenden Sprachelemente der Programmiersprache C gegeben. Es werden Erläuterungen zu den Grunddatentypen, zu einfachen arithmetischen Operatoren und Ausdrücken, zu elementaren Steuerstrukturen, zu Funktionen und zur Programmstruktur gegeben.

Der zweite und umfangreichste Hauptabschnitt behandelt alle für die Programmiersprache C charakteristischen Sprachelemente. Er beginnt mit der ausführlichen Darstellung der Operatoren, strukturierten Datentypen, Vektoren und Zeiger. Es schließt sich die Behandlung von Funktionen an. Das Problem der Speicherklassen, die Gültigkeit von Objekten und deren Lebensdauer wird ausführlich dargelegt. Abschließend folgen Bemerkungen zur Initialisierung von Variablen und zu Typkonvertierungen.

Der dritte Hauptabschnitt beschäftigt sich mit der Programmierumgebung der Programmiersprache C, d. h. mit dem Präprozessor, der Einbettung in das Betriebssystem UNIX mit Hilfe der Standardbibliothek und den Möglichkeiten der systemnahen Programmierung.

Am Ende jedes Hauptabschnitts werden mehrere dem Inhalt entsprechende ausführlich erläuterte Beispiele gegeben. Die Anhänge runden das gesamte Buch ab. Sie enthalten eine kurze Syntaxübersicht (hier hätte sich der Rezensent auch die grafische Darstellungsform gewünscht), eine kurze Dokumentation der C-Standardbibliothek und die für den Praktiker wichtigen Unterschiede zwischen den einzelnen C-Standardisierungsvorschlägen. Das Stichwörterverzeichnis enthält alle wesentlichen Begriffe, so daß das Buch auch sehr gut als Nachschlagewerk benutzt werden kann.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß dieses Buch für jeden Nutzer der Programmiersprache C, sowohl für den Anfänger als auch für den erfahrenen Programmierer, empfehlenswert ist.

J.-P. Bell, Berlin ELB 49

Documentation

Ermisch, J.; Milde, M.; Thieme, F.; Murawski, E.; Steinbach, H.

Computer Aided Measuring Device Adapted to Determining Magnetic Characteristic Values of Dynamo Strip

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, pp. 324–329, 7 Figs., 1 Table, 6 Refs.

A microcomputer controlled measuring device is described, adapted to determining the characteristic material values of electric sheet metal. By using this measuring device determining the magnetization curve of the material, computing special, characteristic values, and recording and storing the results for using in further studies are possible in a short time.

Melhardt, H.-J.

Disturbance Influencing of GaAs-Sensors for Measuring Temperatures

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, pp. 329–331, 7 Figs., 3 Equations, 6 Refs.

A method of fibre-optically measuring temperatures with semiconductor sensors is described, which base upon the principle of the temperature depending displacement of the host lattice absorption edge. Disturbance influencing the absorption behaviour of the sensor by electromagnetic fields is studied, and conclusions are derived, regarding to using the method in measuring temperatures in electric operating means.

Reincke, F.

Transformer Models Adapted to Computing Overvoltages in Electromagnetic Transient States in Conductors and Switching Plants

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, pp. 331–336, 7 Figs., 46 Refs.

The theoretical fundamentals and prerequisites for creating a digital simulation model of transformer and transfer system (network) to computing electromagnetic transient states are derived. On that base comparing different transformer models adapted to computing overvoltages is made.

Tac kmann, K.

Computing the Dispersion Current Exchange in D.C. Pathes by Using TGL 18790 with the Specific Work Consumption

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, pp. 337, 1 Fig., 4 Equations, 1 Ref.

To computing the reliable supply width of substations for d.c. pathes according to TGL 18790 (computing the influence quantity through dispersion current corrosion) a method together with a computing example is given, by which the statistical value of the specific work consumption may be used.

Chinkov, D.; Mischev, P.; Bozov, N.

Computer Aided Study of the Reliability of the Basic Circuits of Switching Plants

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, pp. 338–339, 4 Figs., 2 Tables, 3 Refs.

The supply reliability in the electric energy system is influenced substantially through the basic circuits of the switching plants. A model and a computing programme are represented, which allow considering the reliability in planning and projecting as well as in operating switching plants. Thereby the reliability statement is reached by means of analyzing the switching states.

Bochanky, L.; Schurig, S.

Load Lines in Public Lower and Medium Voltage Networks

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, pp. 340–345, 4 Figs., 2 Tables, 15 Refs.

Measured daily, weekly and yearly load lines of the active load, the reactive load and the power factor as well as line parameters of typical supply areas are indicated. It is hinted to applications in planning and operating networks.

Bär, G.; Kaiser, E.; Rößiger, U.; Weist, H.

Corrosion Properties and Contact Resistance of AuAgNi-Materials for Unprotected Relay Contacts

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, pp. 346–349, 3 Figs., 3 Tables, 3 Equations, 14 Refs.

Corrosion and application studies of the contact materials AuAg17Ni and AuNi5 by using the qualimetric property evaluation prove the adaption of the 3-material-alloy for unprotected relief contacts of the relay techniques in medium electric loads and average SO_2 and H_2S concentrations in the ambient atmosphere.

Документация

Эрмиш, Й.; Мильде, М.; Тиме, Ф.; Муравски, Э.; Штайнбах, Х.

Автоматизированный при помощи ЭВМ измерительный прибор для определения магнитных параметров динамной ленты

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 9, стр. 324–329, 7 рис., 1 табл., 6 лит.

Дается описание управляемого от микро ЭВМ измерительного прибора для определения материальных параметров электростали. При помощи данного измерительного комплекта обеспечивается быстрое определение характеристикиа намагничивания материала, вычисление определенных параметров с протоколированием результатов и накоплением их в целях использования в других исследованиях.

Мельхардт, Х.-Й.

Мешающие воздействия на арсенид-галлиевые чувствительные элементы для измерения температуры

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 9, стр. 329–331, 7 рис., 3 уравн., 6 лит.

Дается описание метода волоконно-оптического измерения температуры при помощи полупроводниковых чувствительных элементов, базирующая на принципе зависящего от температуры смещения постоянной поглощения основной решетки.
Исследуется воздействие электромагнитных полей на характеристику поглощения чувствительного элемента, выводятся заключения по применению его для измерения температуры в электрооборудовании.

Райнке, Ф.

Трансформаторные модели для расчета перенапряжений при электромагнитных переходиых процессах на проводах и в распределительных устройствах

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 9, стр. 331–336, 7 рис., 46 лит.

Выводятся теоретические основы и предпосылки для создания модели для цифрового моделирования трансформатора и системы передачи (сети) для расчета электромагнитных переходных процессов. На данной основе сопоставляются разные трансформаторные модели для расчета перенапряжений.

Такманн, К.

Расчет влияния блуждающих токов для электротяг постоянного тока по ТГЛ 18790 на основе удельного рабочего потребления

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 9, стр. 337, 1 рис., 4 уравн., 1 лит.

Указывается способ расчета с примером вычисления для определения допускаемой дальности питания подстанций для электротяг постоянного тока по ТГЛ 18790 (расчет величины воздействия за счет коррозии блуждающим током), позволяющий применение статистического значения удельного рабочего потребления.

Хинков, Д.; Мишев, П.; Боцов, Н.

Исследование с помощью ЭВМ надежности основных схем распределительных устройств

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 9, стр. 338–339, 4 рис., 2 табл., 3 лит.

Надежность снабжения в электроэнергетической системе в существенной мере зависит от основных схем распределительных устройств. Представляются модель и программа расчета, позволяющая учитывать надежность в планировании и проектировании, а также в процессе эксплуатации распрелительных устройств. Заключение о надежности при этом получается на основе анализа состояний коммутационного аппарата.

Боханки, Л.; Шуриг, З.

Нагрузочные характеристики в общественных низковольтных и распределительных сетях

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 9, стр. 340–345, 4 рис., 2 табл., 15 лит.

Указываются относительные суточные, недельные и годовые графики активной нагрузки, реактивной нагрузки и козффициента мощности, а также параметры нагрузочной характеристикч для типичных районов электроснабжения. Даются указания по применению их в планировании и эксплуатации сетей.

Бэр, Г.; Кайзер, Э.; Рёссигер, У., Вайст, Х.

Коррозионный свойства и контактное сопротивление материалов AuAgNi для незащищенных релейных контактов

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 9, стр. 346–349, 3 рис., 3 табл., 3 уравн., 14 лит.

Коррозионные и эксплуатационные исследования контактных материалов AuAg17Ni и AuNi5 с применением квалиметрической оценки свойств подтверждают пригодность трехкомпонентного сплава для незащищенных размыкающих контактов релейной техники при средних электрических нагрузках и средних значениях концентрации SO_2 и H_2S в окружающей среде.

Ermisch, J.; Milde, M.; Murawski, E.; Steinbach, H.; Thieme, F.

Rechnergestütztes Meßgerät zur Bestimmung magnetischer Kennwerte von Dynamoband

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, S. 324–329, 7 Bilder, 1 Tafel, 6 Lit.

Es wird ein mikrorechnergesteuertes Meßgerät zur Bestimmung der Werkstoffkenngrößen von Elektroblechen beschrieben. Mit diesem Meßplatz ist es in kurzer Zeit möglich, die Magnetisierungskennlinie des Werkstoffs zu bestimmen, bestimmte Kennwerte zu berechnen und die Ergebnisse zu protokollieren und für weitere Untersuchungen zu speichern.

Melhardt, H.-J.

Störbeeinflussung von GaAs-Sensoren zur Temperaturmessung

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, S. 329–331, 7 Bilder, 3 Gln., 6 Lit.

Es wird eine Methode der faseroptischen Temperaturmessung mit Halbleitersensoren, die auf dem Prinzip der temperaturabhängigen Verschiebung der Grundgitterabsorptionskante basiert, beschrieben. Der Störeinfluß auf das Absorptionsverhalten des Sensors durch elektromagnetische Felder wird untersucht, und es werden Schlußfolgerungen für den Einsatz zur Temperaturmessung in elektrischen Betriebsmitteln gezogen.

Reincke, F.

Transformatormodelle für Überspannungsberechnungen bei elektromagnetischen Ausgleichsvorgängen auf Leitungen und in Schaltanlagen

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, S. 331–336, 7 Bilder, 46 Lit.

Es werden die theoretischen Grundlagen und Voraussetzungen zur Schaffung eines digitalen Simulationsmodells für Transformator und Übertragungssystem (Netz) zur Berechnung elektromagnetischer Ausgleichsvorgänge abgeleitet. Auf dieser Basis wird ein Vergleich verschiedener Transformatormodelle für Überspannungsberechnungen vorgenommen.

Tackmann, K.

Berechnung des Streustromaustausches bei Gleichstrombahnen nach TGL 18790 mit dem spezifischen Arbeitsverbrauch

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, S. 337, 1 Bild, 4 Gln., 1 Lit.

Zur Errechnung der zulässigen Speiseweite von Unterwerken für Gleichstrombahnen nach TGL 18790 (Berechnung der Einflußgröße durch Streustromkorrosion) wird eine Verfahrensweise mit Rechenbeispiel angegeben, nach der man den statistischen Wert des spezifischen Arbeitsverbrauchs verwenden kann.

Chinkov, D.; Mischev, P.; Bozov, N.

Rechnergestützte Untersuchung der Zuverlässigkeit der Grundschaltungen von Schaltanlagen

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, S. 338 u. 339, 4 Bilder, 2 Tafeln, 3 Lit.

Die Versorgungszuverlässigkeit im Elektroenergiesystem wird durch die Grundschaltungen der Schaltanlagen wesentlich beeinflußt. Es wird ein Modell und ein Rechenprogramm vorgestellt, das die Berücksichtigung der Zuverlässigkeit in der Planung und Projektierung sowie bei der Betriebsführung von Schaltanlagen gestattet. Die Zuverlässigkeitsaussage wird dabei über eine Analyse der Schaltzustände gewonnen.

Bochansky, L.; Schurig, S.

Belastungsgänge in öffentlichen Nieder- und Mittelspannungsnetzen

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, S. 340–345, 4 Bilder, 2 Tafeln, 15 Lit.

Es werden bezogene Tages-, Wochen- und Jahresganglinien für die Wirklast, die Blindlast und den Leistungsfaktor sowie Ganglinienparameter für typische Versorgungsgebiete angegeben. Auf Anwendungen bei Planung und Betrieb der Netze wird hingewiesen.

Bär, G.; Kaiser, E.; Rößiger, U.; Weist, H.

Korrosionseigenschaften und Kontaktwiderstand von AuAgNi-Werkstoffen für ungeschützte Relaiskontakte

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 9, S. 346–349, 3 Bilder, 3 Tafeln, 3 Gln., 14 Lit.

Korrosions- und Einsatzuntersuchungen an den Kontaktwerkstoffen AuAg17Ni und AuNi5 unter Anwendung der qualimetrischen Eigenschaftsbewertung bestätigen die Eignung der 3-Stoff-Legierung für ungeschützte Abhebekontakte der Relaistechnik unter mittleren elektrischen Belastungen bei durchschnittlichen SO_2- und H_2S-Konzentrationen in der Umgebungsatmosphäre.

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik Oranienburger Str. 13/14, Berlin, DDR, 1020 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 2870; Telex: 0112228 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Ing. *Günther Barth*, Redakteur (Telefon 2870343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, Bereich Borsdorf Borsdorf, 7122
Gestalter	*Eckardt Natorp* (Telefon 2870287)
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, Berlin, 1020 PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR, 1157
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11 a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS — Ústřédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 12000 Praha 2 PNS, Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače Praha, Posta 022, 88547 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzéće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	D. E. P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Ha Noi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, 2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Leipzig, DDR, 7010, Postfach 160 und Leipzig Bkoo Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR, 7010

Steuerungen in der Automatisierungstechnik

Von einem Autorenkollektiv unter Federführung von Dr.-Ing. Günther Graichen und Dr.-Ing. Heinz Kolb. Herausgegeben vom Institut für Fachschulwesen der DDR. 312 Seiten, 220 Bilder, 25 Tafeln, Leinen, DDR 23,— M, Ausland 28,— DM. Bestellangaben: 5537573/Steuerungen

Das Fachschullehrbuch ist praxisorientiert und bevorzugt auf die Nutzer von Automatisierungseinrichtungen zugeschnitten. Aufgrund seiner Anwendungsbezogenheit ist dieses Werk nicht nur als Lehrbuch für die Ausbildung in allen Studienformen (Direkt- und Fernstudium), sondern auch für die Weiterbildung von Ingenieuren in der Praxis geeignet.

Hauptabschnitte:

Einleitung · Grundbegriffe der Automatisierungstechnik · Lineare Glieder · Einige Grundlagen der Digitaltechnik · Prozeßanalyse · Offene Steuerungen in der Automatisierungstechnik · Geschlossene Steuerungen in der Automatisierungstechnik · Einführung in die Mikrorechentechnik · Grundlagen der digitalen Regelungstechnik Ausgewählte Steuerungen.

Petri-Netze in der Steuerungstechnik

Von Dr. rer. nat. Rainer König und Dr.-Ing. Lothar Quäck. 200 Seiten, 226 Bilder, 10 Tafeln, Kunstleder, DDR 28,— M, Ausland 36,— DM. Bestellangaben: 5539245/König, Petri-Netze

Ein Petri-Netz ist ein graphisches Darstellungsmittel, mit dem man sowohl statische als auch dynamische Eigenschaften von Prozessen beschrieben kann. Mit Hilfe von Petri-Netzen ist es dem Steuerungstechniker möglich, umfangreichere Steuerungen in kürzerer Zeit zu entwerfen. Daher besteht ein großes Interesse an einer Einführung in das Petri-Netzkonzept, das auf den Erfahrungen des Steuerungstechnikers aufbaut.
Die Autoren führen die Leser in anschaulicher Weise und praxisgerecht in das Netzkonzept ein, wobei die Fragen des Entwurfs binärer Steuerungen im Vordergrund stehen. Methodisch wird dabei von den Erfahrungen des Praktikers ausgegangen, die netztheoretischen Aussagen werden aus praxisnahen Beispielen hergeleitet. Sorgfältig gestaltete Bilder unterstützen die Anschaulichkeit.

Hauptabschnitte:

Einleitung Petri-Netze, ein Mittel zur Modellierung von Prozessen · Grundlagen des Petri-Netz-Konzepts · Interpretierte Petri-Netze · Hardwarerealisierung von Petri-Netzen · Zeitbewertete Petri-Netze · Realisierung zeitbewerteter steuerungstechnisch interpretierter Petri-Netze · Anwenderprojekt „Hochleistungs-Stufenumformautomat".

Entwurf von adaptiven Systemen

Eine Darstellung für Ingenieure

Von Doz. Dr. sc. techn. Klaus-Peter Schulze und Dr.-Ing. Klaus-Jürgen Rehberg. 244 Seiten, 201 Bilder, Leinen, DDR 33,— M, Ausland 42,— DM. Bestellangaben: 5537629/Schulze, Entwurf

Aufgrund ihrer bemerkenswerten Eigenschaft, sich selbsttätig an unbekannte oder zeitveränderliche Betriebsbedingungen anzupassen, sind adaptive Systeme in nahezu allen Bereichen der Industrie sehr universell einsetzbar. Die Mikrorechentechnik gestattet auch erstmals die umfassende technische Realisierung. In der Monographie wird sehr anschaulich durch zahlreiche Bilder, Ablaufpläne und Beispiele eine geschlossene Darstellung der wichtigsten Entwurfsprinzipien gegeben.

Hauptabschnitte:

Adaptive Systeme — Einführung, Grundlagen · Analyse und Synthese nach Empfindlichkeitskriterien, Einordnung von Empfindlichkeit und Adaption · Adaptive Eingrößensysteme Entwicklungsstand adaptiver Systeme, aktuelle Probleme und Entwicklungstendenzen.

Auslieferung in diesen Tagen durch den Fachbuchhandel

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

ISSN 0013—5399
ELEKTRIE · Berlin 42 (1988) 9 · S. 321—360

Vielsprachige Wörterbücher für Wissenschaft und Technik

ENGLISCH–DEUTSCH–FRANZÖSISCH–RUSSISCH

Mathematik

Mit etwa 35000 Wortstellen aus allen mathematischen Disziplinen. Zusammengestellt von Dipl.-Math. Ralf Sube und Prof. Dr. rer. nat. Günther Eisenreich. 3., unveränderte Auflage. In zwei Bänden. 1458 Seiten, Bde. I/II DDR 120,— M, Ausland 140,— DM. Bestellangaben: 5532617/Sube, Wb. Mathematik

Strahlenschutz · Strahlenbiologie · Nuklearmedizin

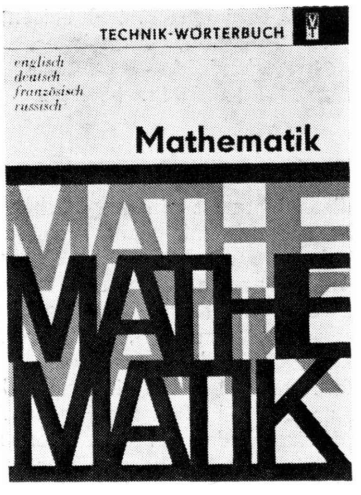
Mit etwa 12000 Wortstellen aus den Gebieten Strahlenschutz, Strahlenbiologie, Anwendung von Isotopen und ionisierenden Strahlungen in der Medizin, der Landwirtschaft und anderen Gebieten. Zusammengestellt von Dipl.-Math. Ralf Sube. 1. Auflage. 474 Seiten, DDR 48,— M, Ausland 78,— DM. Bestellangaben: 5534794/Sube, Wb. Strahlenschutz

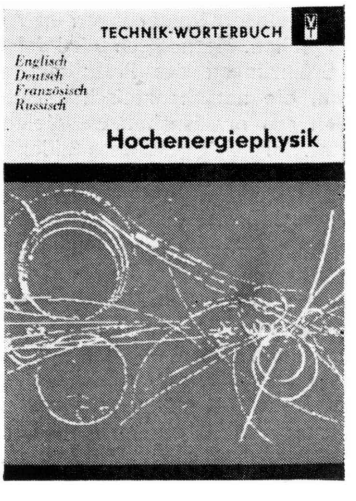
Hochenergiephysik

Mit etwa 4500 Wortstellen aus der Hochenergiephysik (Elementarteilchen, Feldtheorien, Nachweis und Messung der Elementarteilchen, Teilchenbeschleuniger). Zusammengestellt von Dipl.-Math. Ralf Sube. 1. Auflage. 164 Seiten, DDR 22,— M, Ausland 36,— DM. Bestellangaben: 5537645/Sube, Hochenergiephysik

Chromatographie

Mit etwa 3500 Wortstellen aus allen Zweigen der chromatographischen Verfahren unter besonderer Berücksichtigung der Geräte und Ausrüstungen. Die Auflage wurde erweitert und neuen Anforderungen bis hin zum Einsatz mikroelektronischer Bauelemente angepaßt. Zusammengestellt von Dr. rer. nat. Hans-Peter Angelé. 2., stark bearbeitete Auflage. 132 Seiten, DDR 22,— M, Ausland 22,— DM. Bestellangaben: 5532262/Angelé, Wb. Chromatog.





VEB
VERLAG
TECHNIK
BERLIN

Jeder Band in Kunstleder gebunden

Auslieferung durch den Fachbuchhandel

Umweltschutztechnik

Mit etwa 14000 Wortstellen aus den Gebieten Technologien, Geräte, Maschinen, Anlagen und Anlagensysteme der Umweltschutztechnik und deren Einsatz bei der Abwasserbehandlung, der Reinhaltung der Luft, der Abproduktbehandlung, des Lärmschutzes und des Küstenschutzes. Herausgegeben von Prof. Dr. Egon Seidel. Zusammengestellt von einem Autorenkollektiv. 1. Auflage. 528 Seiten, DDR 52,— M, Ausland 80,— DM. Bestellangaben: 5535762/Seidel, Wb. Umweltschutz

Robotertechnik

Mit etwa 7000 Wortstellen aus den Gebieten Greiferführung, Greifer, Antriebe, Manipulatorsteuerungen, Wegmeßsysteme, Erkennungssysteme, Einsatz von Manipulatoren, Schweißroboter, Roboter der 3. Generation (mikroelektronisch orientierte Informationsverarbeitungssysteme mit spezieller Peripherie und Logik). Zusammengestellt von Prof. Dr.-Ing. habil. Erich Bürger unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. Günter Korzak. 2., unveränderte Auflage. 276 Seiten, DDR 30,— M, Ausland 48,— DM. Bestellangaben: 5534807/Bürger, Wb. Robotertechnik

Optische Kommunikationstechnik

Mit etwa 4000 Wortstellen aus folgenden Gebieten: optische Informationsübertragung, Komponenten, physikalische Grundlagen, Herstellung, Systeme, optische Informationsgewinnung und -verarbeitung. Zusammengestellt von Dr.-Ing. Jens Peter Rehahn und Dipl.-Ing. Natalja Schäfer. 1. Auflage. 156 Seiten, DDR 18,— M, Ausland 37,— DM. Bestellangaben: 5537709/Rehahn, Wb. Kommunikation